



NIVELLS DE RADÓ EN EXTERIOR I RECINTES TANCATS A LA MARJAL CÀRSTICA DE PENÍSCOLA.

**Projecte Fi de Carrera de Ciències Ambientals
(2007-2008)**

Anna Cherta Val

Dirigit per: Carme Baixeras

Jordi Garcia Orellana

Bellaterra, 4 de setembre de 2008

Agraïments

M'agradaria dedicar aquestes línies a tota aquella gent que ha fet possible la realització d'aquest treball. Havia pensat que potser necessitaria un annex per poder donar les gràcies ben donades a tothom que s'ho ha guanyat, però ni el temps ni el protocol m'ho permeten, així que perdoneu la meua brevetat i simplicitat.

Abans de res, vull donar les gràcies als meus directors, la Carme Baixeras i el Jordi Garcia Orellana, per donar-me l'oportunitat de realitzar aquest treball que d'entrada ja el trobava mig meu (qüestió d'arrels). Gràcies especialment al Jordi, per fer-me de director, professor, company, psicòleg i en alguna ocasió de papa.

Gràcies també a la Viqui, la princesa del radó. Ella és qui m'ho ha ensenyat pràcticament tot del radó, qui m'ha ajudat a resoldre molts dubtes existencials sobre el treball i a qui hauré agobiat més presentant-me sense avisar (o viceversa). Gràcies al Valentí, per l'ajuda infinita prestada i pels ànims en els moments més difícils, i a l'Ester, que sempre ha estat disposada a escoltar i aconsellar.

Agraeixo també l'ajuda desinteressada al Carlos, alias el senyor de les claus, a Jacinto, a Roberto i a l'equip de FACSA de Peníscola i Alcalà. Gràcies a vosaltres he tingut accés a informació imprescindible en aquest treball. Gràcies també per col·laborar a Amparo de l'escola, a Juan del càmping, al personal de manteniment del Palau de Congressos, a Jorge de l'ajuntament i al senyor Francisco.

Gràcies també a la Laura i a l'Arti pel suport i per aguantar-me les rallades durant tot aquest temps. Crec que a hores d'ara ja coneixeu la vida i obra del radó millor que jo. Gràcies a elles, i també a l'Anaïs, per deixar-me carregar-les constantment amb els RAD7 (el transport d'òrgans). També li agraeixo a la Raquel per haver-me salvat d'un gran apuro en l'últim moment. Gràcies a Garru per l'ajuda física prestada, pel transport, per les urgències d'última hora, però sobretot pel suport infinit i la paciència d'aguantar-me, especialment aquests darrers dies.

I per últim, vull donar les gràcies a la meua família, especialment a la meua mare, al meu pare i a Silvia. Sense l'ajuda, suport i amor d'ells aquest treball no hauria estat possible.

Prefaci

El present estudi ha estat realitzat per a l'assignatura de projectes de la llicenciatura de ciències ambientals de la Universitat Autònoma de Barcelona. El treball s'ha realitzat dins el marc del Projecte Nacional: "Evaluación de la descarga de agua subterránea al mar desde el acuífero regional Jurásico de la Unidad Hidrogeológica de El Maestrazgo (Castellón), mediante isótopos de Ra (EDASMAR)" (CGL2006-09274/HID), finançat pel Ministerio de Educación y Ciencia (MEC) en el qual participa la Universitat Autònoma de Barcelona y el Instituto Geológico i Minero de España (IGME).

Aquest treball forma part d'un estudi que s'està portant a terme a la Marjal de Peníscola en el qual s'estudien el processos de descàrrega d'aigua subterrània a la marjal des del punt de vista geoquímic. Com a resultats del primer treball, també presentat com a treball de final de carrera de la llicenciatura de Ciències Ambientals, anomenat "Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La Marjal de Peníscola" es van observar altes concentracions de ^{226}Ra i ^{222}Rn en les aigües de la marjal fet que va provocar el plantejament del treball que en aquesta memòria es presenta.

El principal objectiu d'aquest treball es determinar les concentracions de ^{222}Rn en aire per tal de determinar el risc radiològic derivat d'aquest gas a la població de la zona, tant a nivell laboral com a nivell de públic en general. Per assolir aquest objectiu general s'han establert uns objectius específics que permetin conèixer les conseqüències i solucions de la concentració de ^{222}Rn en aire en diferents punts de la marjal i dels seus voltants. Així, en aquest estudi es pretén:

- i) Determinar la concentració de radó en aire distribuït per la marjal de Peníscola. Amb aquest objectiu s'ha realitzat un estudi continu mitjançant detectors passius en diferents punts per tal de determinar possibles zones amb altes emanacions del gas.
- ii) Determinar la concentració de radó en aire de diferents llocs de treball propers a la marjal de Peníscola, i comparar-los amb els nivells d'acció recomanats per la ICRP 65 (1994) i per la CEC (1990). Aquest mostreig discret s'ha realitzat a 4 punts que tenen unes implicacions en termes de protecció radiològica més rellevants: el Palau de Congressos, l'escola Jaime Sainz, el càmping Eden i la depuradora del municipi.
- iii) Analitzar les possibles conseqüències que es puguin derivar dels resultats de l'apartat anterior i establir solucions en aquells llocs de treball que tinguin concentracions que sobrepassen els valors màxims recomanats.

Per assolir aquests objectius, s'han dut a terme dos tipus de mostreig: mostreig en continu i puntual. Aquest darrer tipus de mostreig s'ha realitzat a 4 punts que tenen unes implicacions en termes de protecció radiològica més rellevants: el Palau de Congressos, l'escola Jaime Sainz, el càmping Eden i la depuradora del municipi.

ÍNDIX

Agraïments

Prefaci

Índex

1. INTRODUCCIÓ

1.1. EL GAS RADÓ. CARACTERÍSTIQUES QUÍMIQUES I FÍSIQUES.....	11
1.2. IMPORTÀNCIA RADIOLÒGICA DEL RADÓ.....	13
2.3. MARC LEGAL DEL RADÓ A ESPANYA.....	17
2.4. NIVELLS DE RADÓ A ESPANYA.....	18

2. ZONA D'ESTUDI

2.1. LES ZONES HUMIDES.....	23
2.1.1. Zones humides a la mediterrània.....	23
2.1.1.1. Zones humides a la costa de la Comunitat Valenciana.....	25
2.1.2. La problemàtica de les zones humides.....	25
2.1.3. Les marjals. Característiques i fluxos.....	26
2.1.3.1. Comportament i fluxos dels radionúclids en una marjal.....	29
2.2. LA MARJAL DE PENÍSCOLA.....	31
2.2.1. Distribució dels radionúclids naturals a la Marjal de Peníscola.....	35

3. MOSTREIG I MÈTODES D'ANÀLISI

3.1. MOSTREIG.....	39
3.1.1. Mesures integrades en aire.....	41
3.1.2. Mesures integrades en el sòl.....	41
3.1.3. Mesures puntuals en recintes tancats.....	41
3.2. MÈTODES D'ANÀLISI I MESURA.....	48
3.2.1. Detector passiu de Makrofol.....	48
3.2.2. RAD7.....	54
3.2.3. LR 115.....	58

4. RESULTATS

4.1. NIVELLS DE RADÓ A L'EXTERIOR.....	63
4.2. NIVELLS DE RN EN EDIFICIS I INSTAL·LACIONS.....	66
4.2.1. Palau de congressos.....	67
4.2.2. Ceip Jaime Sainz.....	69
4.2.3. Càmping Edén.....	69
4.2.4. Depuradora.....	70
4.2.5. Altres punts.....	77

4.3. NIVELL DE RADÓ EN SÒLS.....	77
5. DISCUSSIÓ	
5.1. . NIVELLS DE RADÓ A L'EXTERIOR.....	81
5.2. NIVELLS DE RN EN EDIFICIS I INSTAL·LACIONS.....	84
5.2.1. Palau de congressos.....	85
5.2.2: Ceip Jaime Sainz.....	85
5.2.3: Càmping Edén.....	85
5.2.4: Depuradora.....	86
5.2.5: Altres punts.....	89
5.3. NIVELL DE RADÓ EN SÒLS.....	89
6.CONCLUSIONS.....	93
BIBLIOGRAFIA.....	97
ANNEX.....	103

1. INTRODUCCIÓ

1.1. El gas radó. Característiques químiques i físiques.

El gas radó amb símbol inicial Em, d'emanació, deu el seu nom actual al radi, element del qual s'origina. És un gas noble que apareix a la taula periòdica com l'element del símbol químic Rn i nombre atòmic 86. Té una densitat de $9,73 \text{ kg m}^{-3}$ a la temperatura de 0°C . El seu punt de fusió es troba a -72°C i el d'ebullició a -62°C . A temperatura ambient es caracteritza per ser incolor, inodor i insípid, però en estat sòlid presenta una fosforescència brillant. La seva concentració a l'aire atmosfèric és d'un àtom per cada 108 àtoms d'aire i té una solubilitat en aigua elevada que augmenta a mesura que disminueix la temperatura ($230 \cdot 106 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ a 20°C i de $510 \cdot 10\text{-}6 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$ a 0°C).

Es coneixen 17 isòtops diferents dels radó, però la majoria d'ells no es troben a la natura. Els tres isòtops naturals són (Figura 1.1):

- L'**actinó**, ^{219}Rn , és el descendent del ^{223}Ra i forma part de la cadena de semidesintegració del ^{235}U . La seva contribució a la radioactivitat natural és negligible degut al seu curt període de semidesintegració ($T_{1/2} = 4 \text{ s}$) i a la petita quantitat d' ^{235}U respecte l' ^{238}U ($[^{235}\text{U}] / [^{238}\text{U}] = 0,711\%$). Així, és menyspreable des del punt de vista de protecció radiològica.
- El **toró**, ^{220}Rn , descendent del ^{224}Ra , forma part de la cadena de semidesintegració del ^{232}Th . Dels tres isòtops a la natura és el més abundant, però, la seva contribució a la radioactivitat natural és molt, degut al seu període de semidesintegració ($T_{1/2} = 55$ segons).
- El **radó**, ^{222}Rn , és descendent del ^{226}Ra i forma part de la cadena de semidesintegració del ^{238}U . És el que té el període de semidesintegració més llarg ($T_{1/2} = 3,8$ dies) i, per tant, és el que pot arribar a concentracions més elevades en aire.

Si es tingués una mescla dels tres isòtops en les mateixes proporcions, al cap de poc temps només es tindria radó, ja que amb menys d'un minut s'hauria desintegrat tot l'actinó i amb una 10 minuts tot el toró. Aquest fet fa que la capacitat d'acumulació o de dispersió d'aquest dos isòtops a través d'algun medi sigui molt baixa en comparació a la del radó. És per això que des del punt de vista de protecció radiològica, el radó té molta més importància. Així, en el conjunt del treball quan es parli de radó es farà referència al seu isòtop ^{222}Rn .

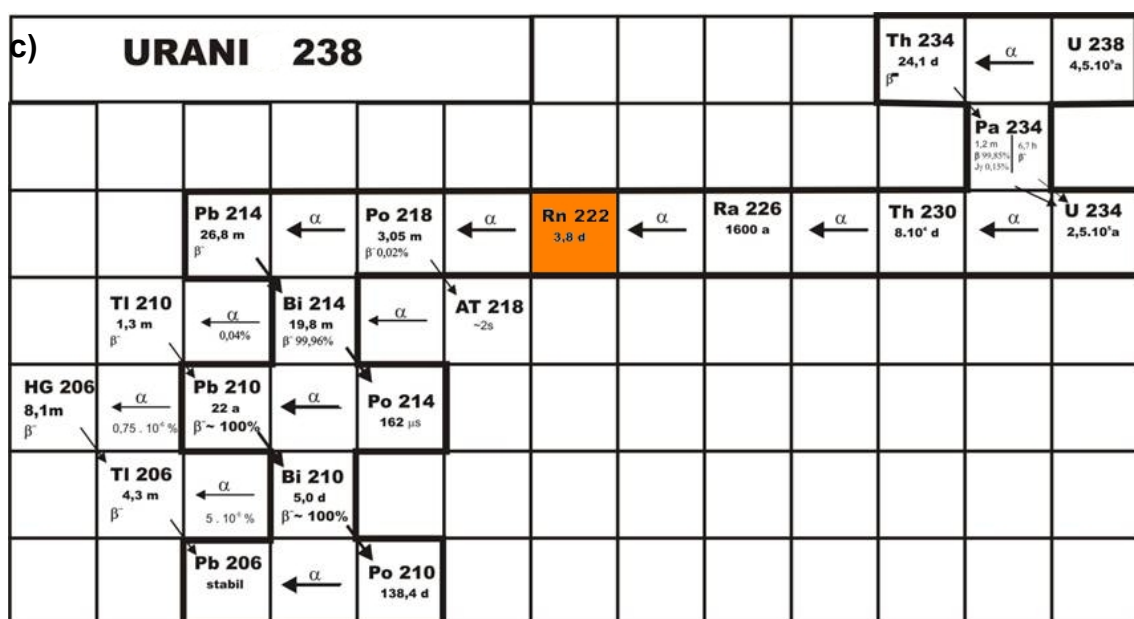
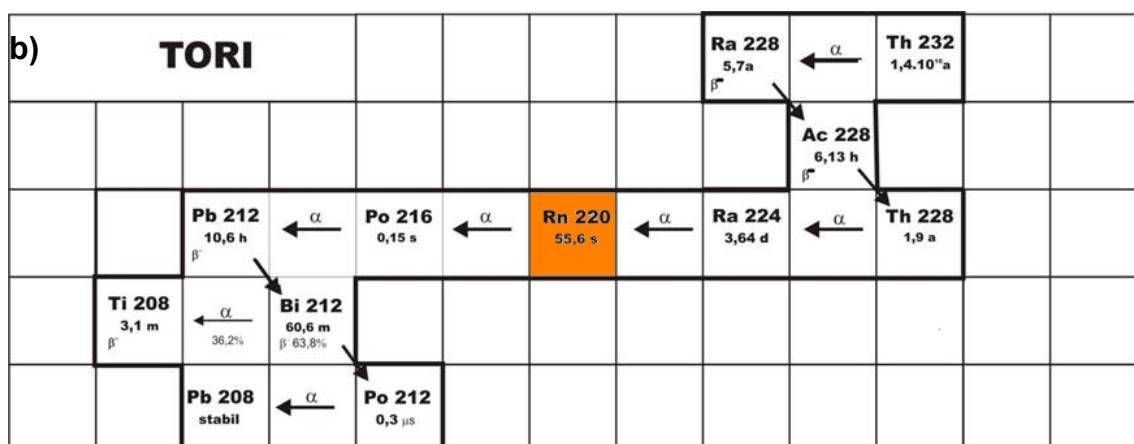
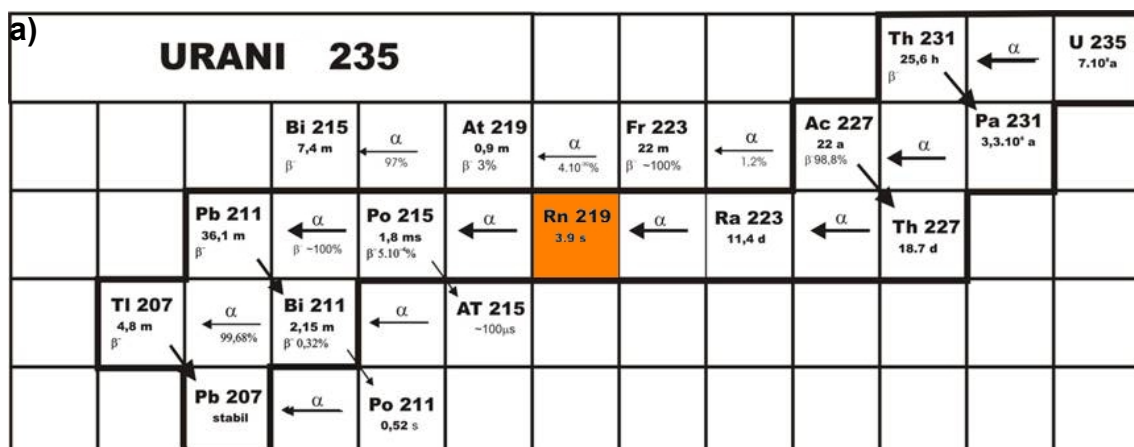


Figura 1.1. a) Cadena de semidesintegració de ^{235}U , b) Cadena de semidesintegració del ^{232}Th , c) Cadena de semidesintegració de ^{238}U . Els diferents isòtops de radó es veuen en color taronja (elaboració pròpia a partir de Llerena, 2006).

Quan el radó es desintegra, emet una partícula α i dóna lloc a diferents elements (Figura 1.1). La principal característica del radó, respecte els altres elements de les cadenes naturals de desintegració, és el fet que és un gas noble i per tant, els seus àtoms són químicament

estables, podent-se moure lliurement sense reaccionar amb cap altre element. Aleshores, quan es formen en el sí d'un material, poden escapar amb facilitat pels porus o espai intermig, arribant a l'aire exterior ràpidament.

Els descendents del radó, en canvi, són metalls pesants, de càrrega positiva i químicament molt actius (presenten elevada adherència als aerosols). Segons el seu període de semidesintegració els podem dividir en els grups:

- Vida mitja curta ($T_{1/2} < 30$ minuts). Són el ^{218}Po , ^{214}Pb , ^{214}Bi i ^{214}Po . Elevada influència en la contaminació interna.
- Vida mitja llarga ($T_{1/2} > 5$ dies). Són el ^{210}Po , ^{210}Bi i ^{210}Pb .
- ^{206}Pb , estable.

Com que el període de semidesintegració dels seus immediats descendents és molt més curt, en un sistema ideal on les seves concentracions fossin indetectables, al cap d'unes 3,5 hores, s'arribaria a una situació d'equilibri radioactiu anomenat equilibri secular, en el qual el ritme de desintegració dels fills ve determinat per la pròpia desintegració del pare. En condicions reals, però aquest fet no es produeix, ja que els descendents del radó s'adhereixen a aerosols de l'aire i es dipositen en superfícies, trencant l'equilibri radioactiu.

1.2. Importància radiològica del radó

Segons el Comitè Científic de les Nacions Unides (UNSCEAR), el valor mig anual de la dosi eficaç equivalent deguda a les fonts artificials de radiació està entre 0,4 i 1 mSv, mentre que la deguda a fonts naturals és d'uns 2,4 mSv, dels quals un 49% són deguts al radó (Figura 1.2 i 1.3).

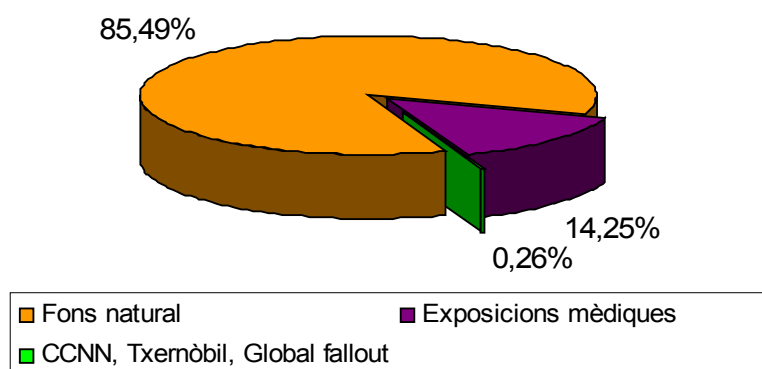


Figura 1.2. Contribució relativa de les fonts de radiació rebudes pel públic en general.

Font	Dosi mitjana (mSv/any)
Aplicacions mèdiques (diagnòstic)	0,4
Proves nuclears atmosfèriques, accident de Txernòbil, producció d'energia nuclear	0,0072
Total	0,4072

Taula 1.1: Dosi anual deguda a fonts de radiació artificial pel públic en general (UNSCEAR,2000)

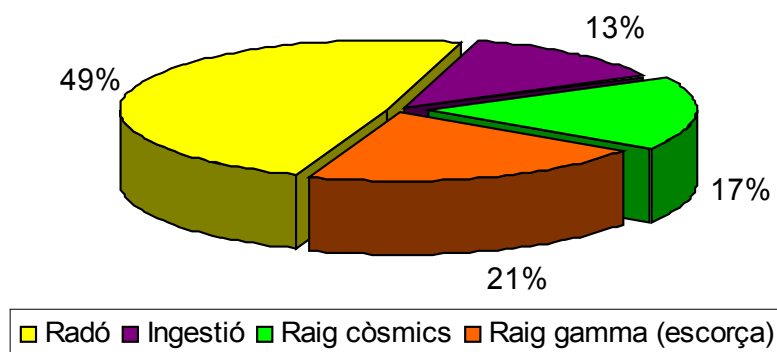


Figura 1.3. Contribució relativa de les fonts de radiació naturals rebudes pel públic en general.

Font	Dosi mitjana (mSv/any)
Exposició externa:	
Raigs còsmics	0,4
Raigs gamma de l'escorça terrestre	0,5
Exposició interna:	
Radó (inhalació)	1,2
Aigua i aliments (ingestió)	0,3
Total	2,4

Taula 1.2. Dosi anual deguda a fonts de radiació artificial pel públic en general (UNSCEAR,2000)

El gas radó, per tant, té una forta contribució a l'augment de dosi inhalada pel públic en general. Però el radó, com ja s'ha esmentat, és un gas químicament inert que per ell mateix no suposa un dany radiològic significatiu degut al seu baix nivell de retenció a l'organisme humà. En canvi, els seus descendents de període de semidesintegració curt es poden dipositar fàcilment a les parets del sistema respiratori. Quan aquests es desintegren poden deixar tota l'energia de les seves desintegracions alfa al llarg del sistema respiratori, especialment als teixits bronquials, i produir un dany biològic important (ICRP, 1987; Moreno, 2006). La publicació 50 de la Comissió Internacional de Protecció Radiològica (ICRP, 1987) va anunciar que una fracció significativa de la freqüència de càncer de pulmó, en varis països, podia ser deguda a l'exposició continuada als descendents del radó en recintes tancats. Al número 60 d'aquesta mateixa publicació (ICRP, 1991) aparegueren les primeres recomanacions relacionades amb el gas radó.

A diferència de les altres fonts de radiació natural, el radó és el que presenta una variabilitat més gran. La presència de urani en tots els materials terrestres produeix en la majoria de sòls concentracions de radó en aire de l'ordre de kBq/m^3 (Hubbard i Hedberg, 1996, Baixeras *et al.*, 1996). El radó existent als l'espai intersticial del sòl pot arribar a tenir fins a tres ordres de magnitud superior a la concentració a l'aire lliure (Font, 2002). Aquest, pot sortir a l'atmosfera exterior o a l'interior de recintes tancats per exhalació i es transporta per l'aire de l'espai intersticial del material on s'ha format mitjançant la difusió i l'advecció, en un nivell de caracteritzat per la taxa d'exhalació ($\text{Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$). El valor mitjà pel sòl és de $0,02 \text{ Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ i pels materials de construcció de l'ordre de $5 \cdot 10^{-4} \text{ Bq m}^{-2} \text{s}^{-1}$ (Porstendörfer, 1994). Si el radó penetra en un recinte tancat el nivell de la seva concentració augmenta fins a valors que poden arribar a suposar un risc radiològic. Les fluctuacions de la concentració de radó en recintes tancats és conseqüència dels gradients de pressió en les esquerdes dels seus fonaments, la presència de canonades, canalitzacions i d'altres possibles connexions del sòl amb l'interior de l'edifici, que sol tenir una pressió lleugerament més baixa que l'exterior (uns pocs pascals), i una taxa de infiltració que depèn de la taxa de ventilació, de les condicions de pressió i temperatura i de les característiques d'exhalació del sòl (Vargas, 2001). Aquesta petita diferència de pressió és la responsable de l'entrada addicional de radó per advecció, de manera que l'edifici funciona com una estructura que succiona l'aire del sòl (Figura 1.4).



- A:** Esquerdes en parets i murs per sota del nivell del sòl.
- B:** Espais al voltant de les canalitzacions.
- C:** Fissures a la placa. Porositat dels materials.
- D:** Juntures de construcció.
- E:** Materials de construcció.
- F:** Aigua corrent.
- G:** Gas.
- H:** Aportacions de l'exterior.
- I:** Desaigües.

Figura 1.4. Esquema de les possibles connexions del radó procedent del sòl amb l'habitatge.

La permeabilitat dels sòls, determinada per la llei de Darcy, indica la major o menor dificultat que tindran al pas del radó. Les argiles, per exemple, tot i contenir generalment una major concentració d'urani, el seu caràcter impermeable fa que la quantitat de radó que arribi a la superfície sigui molt petita. Contràriament, roques molt fracturades i permeables, com poden ser un sistema càrstic, i amb menys contingut d'urani, poden arribar a la superfície del sòl amb més proporció (Quindós, 2002).

Els materials de construcció també són una font de radó degut a la permeabilitat dels mateixos o perquè poden contenir radi. Normalment, la contribució dels materials de construcció és baixa, tot i que en alguns casos pot arribar a ser important. De manera general, es pot considerar que la contribució dels materials de construcció, excepte situacions excepcionals, és de l'ordre d'un 20 a 30 % del total de radó present a l'habitació (Quindós, 2002). També existeix la possibilitat que el radó hi sigui present en l'aigua que s'utilitza a la vivenda, com pot ser en casos on l'aigua prové de pous propers, on la concentració pot ser molt elevada. Per últim, el radó també pot provenir de la combustió de gas natural extret relativament prop de l'edifici on es consumeix (Font, 2002).

S'ha observat que la concentració de radó a l'interior de recintes tancats pot experimentar variacions estacionals i diürnes importants. Degut a que el radó es dissol molt bé en l'aigua, durant períodes de pluja intensa es saturen els porus del terreny, i s'acumula al sòl podent desplaçar-se. Això representa una disminució de la quantitat de radó que arriba a la superfície del sòl. Contràriament, una caiguda de la pressió atmosfèrica produeix una sortida complementària del radó del sòl, degut al procés convectiu motivat per la diferència de pressions en la interfase sòl-aire. Per dur a terme una estimació precisa de la dosi, a part de conèixer aquestes fluctuacions temporals, també cal conèixer un conjunt de paràmetres difícils de determinar, com el factor d'equilibri entre el radó i els seus descendents, la fracció lliure de descendents i l'espectre dimensional de les partícules dels aerosols (Vargas et al., 2004). Degut a la complexitat de totes aquestes variables, quan es realitzen campanyes de mesura es mesuren les concentracions de radó de forma integrada durant períodes llargs de temps i després s'estimen les dosis assumint uns valors de referència dels paràmetres ambientals. Aquest fet ha comportat que molts països hagin establert nivells d'acció en termes de concentració de radó anual i no en termes de dosi.

El fet que puguin existir recintes amb una concentració elevada d'aquest gas i que pugui ser perjudicial per a les persones que hi viuen i hi treballen fa que sigui important l'estudi de l'estimació de la dosi rebuda per a aquesta població, i en els casos que ho permeti, trobar mesures mitigadores. La Comissió de les Comunitats Europees (CEC), a la recomanació relativa a la protecció de la població contra els perills de l'exposició al radó en l'interior d'edificis (CEC, 1990), recomana com a nivells d'acció una concentració de radó de 200 Bq m⁻³ pels habitatges de nova construcció i 400 Bq m⁻³ pels habitatges existents, considerant que cal prendre accions de remei simples en cas de que excedeixi aquest valor. Pel que respecta als llocs de treball, la ICRP estableix que el nivell d'acció recomanat haurà d'estar entre els 400 i els 1000 Bq m⁻³ (ICRP, 1994; Martín Matarranz, 2008).

1.3. Marc legal del radó a Espanya.

En l'actualitat, Espanya disposa d'una normativa que regula totes les activitats relacionades amb l'energia nuclear i la protecció radiològica en aquestes i en instal·lacions mèdiques i de recerca, i d'un organisme, el Consejo de Seguridad Nuclear (CSN), que té la funció de controlar, supervisar i informar de tot allò relacionat amb la seguretat nuclear i la protecció radiològica.

Pel que fa a radioactivitat procedent de fonts naturals, la primera vegada que es va incloure a la legislació fou en el Real Decreto sobre Disposicions per a la lliure circulació de productes de construcció (Real Decreto 1630/92, 1992), transposició de la Directiva 89/106 de la UE Relativa a l'aproximació de les disposicions legals, reglamentàries i administratives en els estats membres sobre els productes de construcció (Directiva 89/106, 1989). Concretament, en l'apartat 3 d'Higiene, Salut i Medi Ambient, Annex 1, Requisits Essencials, on es consideren amenaces com fugues de gas tòxic, presència de partícules o gasos peril·losos en l'aire, emissions de radiacions peril·loses, contaminació o enverinament de l'aigua i del sòl. El document interpretatiu d'aquest RD indica que en relació a l'ambient interior, deu de ser saludable i que entre els contaminants que s'haurà de tenir en compte estarà el radó i les substàncies radioactives que emeten radiacions gamma. Tot i la normativa, fins al moment no s'ha tingut en compte a l'hora de construir nous edificis.

L'any 2001, sorgí el Reglament sobre la protecció sanitària contra les radiacions ionitzants (Real Decreto 783/2001, 2001), a partir de la recomanació europea (90/143/EURATOM, 1990). Concretament, en els articles 62 i 63 (Títol VII), es fa referència a les exposicions degudes a la inhalació dels descendents del radó i del toró. En aquest reglament s'estableix la necessitat de dur a terme estudis en aquells llocs de treball on existeixin fonts naturals de radiació per tal de determinar si es produeix un increment significatiu de l'exposició dels treballadors o dels membres del públic.

Després de la publicació del nou reglament, el CSN va posar en marxa un pla d'actuacions que va permetre el finançament de nombrosos projectes d'investigació. Dins d'aquest pla d'actuacions també es va considerar el desenvolupament, juntament amb l'Institut de Ciències de la Construcció Eduardo Torroja (CSIC), d'una normativa específica per a la protecció contra l'exposició al radó a l'interior d'habitatges, amb l'objectiu d'incorporar-la al Codi Tècnic d'Edificació (CTE). Les idees principals d'aquesta normativa, tot i no haver estat incloses al CTE, són les següents (Martín Matarranz, 2004):

- Com que en la legislació espanyola no existeix cap requeriment respecte a la protecció del radó en habitatges i llocs de treball es proposa el valor recomanat per la CEC de 400 Bq m^{-3} equivalent a una dosi de 20 mSv a l'any per a vivendes ja construïdes; de 200 Bq m^{-3} equivalent a 10 mSv a l'any en vivendes de nova

construcció, i de 400 a 1000 Bq m⁻³ (baix o alt nivell de protecció) per a llocs de treball.

- Tot el territori espanyol queda classificat en tres nivells, segons la potencialitat de l'exposició al radó a l'interior d'edificis. Aquesta classificació es fa a partir de les característiques geològiques, els nivells de radiació gamma obtinguts en el projecte MARNA (Suárez et al., 2000) i les dades disponibles de les concentracions de ²²⁶Ra i ²³²Th en sòls.
- Es fa una segona classificació només de les zones edificables, considerant fonamentalment dos factors: la concentració de radó existent en el sòl i la seva permeabilitat. Les mesures d'aquests dos paràmetres es realitzen seguint un protocol de mesura establert.
- La tècnica de mitigació escollida ve donada en funció de la categoria de la zona i pel tipus d'edificació. Algunes de les possibles solucions constructives són la incorporació de barreres contra el radó en els fonaments de l'edifici i la utilització de sistemes d'extracció actius i passius.

1.4. Nivells de radó a Espanya.

Les primeres mesures realitzades a Espanya sobre concentració de radó en recintes tancats es van realitzar a finals dels anys 80 a les Universitats de Cantàbria, València i Oviedo. A l'any 1989 el Consejo de Seguridad Nacional (CSN) va promoure l'inici de més campanyes de mesura d'aquest gas en recintes tancats per part de diferents organismes nacionals i universitats, com pot ser el Grup de Física de les Radiacions de la Universitat Autònoma de Barcelona (GFR), o l'Institut Nacional de Tècniques Energètiques (INTE) de la Universitat Politècnica de Catalunya (Moreno, 2006).

Al 1991, la Universitat de Cantàbria va publicar els resultats de la primera campanya nacional resultant d'una sèrie de mesures realitzades a escala nacional entre el 1988 i 1989. El total de vivendes mesurades fou de 1555, obtenint una mitjana nacional de concentració de radó de 41,1 Bq·m⁻³ amb una desviació de 3 Bq·m⁻³ i un rang de valors entre 10 i 15400 Bq·m⁻³ (Quindós et al, 1991). Aquestes xifres mostren una gran variabilitat de les dades recollides, de les quals es va deduir que el 13% de les vivendes superaven el límit imposat per l'EPA (Environmental Protection Agency), de 148 Bq m⁻³, mentre que un 4% superaven els valors marcats per la UE (200 Bq m⁻³ per a noves construccions i 400 Bq m⁻³ per a les antigues).

Al 1992 es va realitzar un segon estudi de la mà dels mateixos autors (Quindós et al, 1992), confirmant la hipòtesi que el tipus de substrat geològic de la zona és determinant en la concentració de radó mesurada a l'interior dels edificis. Es va dividir el territori nacional en tres grans zones:

- Zona de nivell alt, habitatges situats sobre roques paleozoiques amb formacions granítiques i pissarroses, amb un 30% de vivendes que superaven els valors mitjos nacionals. Aquestes zones eren Galícia, regió occidental de Castella i Lleó, Serra de Guadarrama a Madrid i Extremadura.
- Zona de nivell mitjà, amb edificacions situades sobre formacions sedimentàries d'origen marí, principalment calcàries i marges, amb valors entre el 15 i el 30% de les vivendes que superaven els valors mitjans nacionals. Canàries, Balears, València, Múrcia i Catalunya podrien ser algunes d'aquestes zones.
- Zona de nivell baix, amb habitatges edificats sobre formacions sedimentàries d'origen continental modern, amb argiles, sorres, gresos i roques calcàries, on el 15% de les vivendes supera els valors mitjans nacionals. A aquest nivell correspondrien la resta de regions espanyoles.

El Grup de Radioactivitat Ambiental de l'Institut de Física Corpuscular de la Universitat de València va publicar l'any 1995 els resultats de les medicions de radó a l'interior d'edificis de la Comunitat Valenciana (Amorós *et al*, 1995). Com a resultat es van obtenir mesures de 34 Bq m^{-3} (amb una desviació estàndard de $3,1 \text{ Bq m}^{-3}$), amb un rang de 23,3 i 67 Bq m^{-3} . Aquests valors coincideixen amb la mitjana nacional exposada per Quindós al 1991 (Quindós *et al*, 1991), però serien superiors als donats en aquest mateix estudi per al País Valencià (17 Bq m^{-3}) (Llerena, 2006).

2. ZONA D'ESTUDI

2.1. Les zones humides.

Una zona humida o aiguamoll és aquella àrea on l'aigua és el principal factor controlador del medi i la vida vegetal i animal associada a ell (Convenció de RAMSAR, 1971). Les zones humides es donen allà on la capa freàtica es troba a la superfície terrestre o on és propera a aquesta, o bé on la terra està coberta per aigües poc profundes. Tot i que existeixen moltes definicions del concepte de zona humida, existeix una acceptació internacional per aquella proposada per la Convenció Ramsar;

“Es consideren zones humides les extensions de marismes, pantans, turberes o superfícies cobertes per aigua, siguin de règim artificial o natural, permanents o temporals, estancades o corrents, dolces, salades o salobres, incloses les extensions d'aigua marina amb una profunditat en marea baixa que no excedeixi els sis metres” (Convenció Ramsar, Article 1.1.).

“A més podran incorporar zones de vores fluvials o de costes adjacents a la zona humida, així com illes i extensions d'aigua marina amb una profunditat superior als sis metres en marea baixa, quan es trobin dins de la zona humida” (Convenció Ramsar, Article 2.1.).

La importància de les zones humides rau en el fet que són els ecosistemes més productius del planeta, ja que sustenten a una gran diversitat d'espècies animals i vegetals (www.medwet.org; www.ramsar.org).

En general, es coneixen cinc tipus de zones humides principals:

- **Marins:** aiguamolls costers, incloent llacunes costeres, costes rocoses i esculls de corall.
- **Estuaris:** deltes, marismes de marea i manglars.
- **Lacustres:** zones humides associades a llacs.
- **Riberenys:** zones humides properes a rius
- **Zones pantanoses:** pantans i marismes.

2.1.1. Zones humides a la mediterrània.

La regió mediterrània és una zona rica en zones humides, ja que inclou paisatges tan diversos com deltes, llacunes costeres, rius i planes al·luvials, marjaleres temporals o permanents, llacs, i salines. Si bé existeixen considerables diferències entre aquestes, totes les zones humides presenten unes característiques similars derivades d'un clima, d'una topografia i geologia i d'un règim mareal comuns (www.medwet.org), que donen un caràcter típicament dinàmic; poden estar inundats permanentment, intermitentment o només durant una part concreta de l'any, i poden mostrar clares variacions temporals i espacials en la salinitat de les seves aigües. Atenent a aquesta naturalesa dinàmica dels aiguamolls i al fet que ocupen zones de transició entre sistemes aquàtics i terrestres, les zones humides permeten suportar una gran

biodiversitat, permetent la presència d'espècies diferents al llarg de l'any i en diferents zones del mateix aiguamoll (www.medwet.org).

Entre tots els països mediterranis es comptabilitzen al voltant d'uns 300 aiguamolls considerats d'importància internacional (www.ramsar.org). De tota manera, existeixen nombroses zones humides que per motius de rellevància no han estat incloses en el Llistat de Ramsar.

En aquest estudi, cal donar importància als aiguamolls litorals de la costa mediterrània, i concretament a aquelles zones humides classificades com a marjaleries permanents d'aigües dolces, salobres o salades (categories *Sp* i *Tp*, segons la convenció Ramsar). De totes les zones humides europees del litoral mediterrani incloses en el Llistat de Ramsar, un total de 22 estan catalogades com a marjaleries permanents d'aigües dolces, salobres o salades, tot i que en només 6 casos aquest sistema és l'ecosistema dominant en la zona humida (Figura 2.1): Prat de Cabanes-Torreblanca, Aiguamolls de l'Empordà i Kotychi Lagoons, que presenten com a tipus d'aiguamoll dominant les marjaleries permanents d'aigua salada o salobre (categoria *Sp*) i Marjal de Pego-Oliva, S'Albufera de Mallorca i Torre Guaceto, que presentent com a sistema dominant una marjaleria permanent d'aigua dolça (*Tp*) (www.wetlands.org).



Figura 2.1. Zones humides de la costa mediterrània incloses en el Llistat Ramsar com a marjaleries permanents d'aigües dolces, salobres o salades. En vermell, aquelles zones humides on les marjaleries permanents són l'ecosistema principal; 1)Albufera de Adra. 2)Lagunas de Mata y Torrevieja. 3) Salinas de Santa Pola. 4) Marjal de Pego-Oliva. 5) Albufera de València. 6) Prat de Cabanes-Torreblanca. 7) S'Albufera de Mallorca. 8)Aiguamolls de l'Empordà. 9) Les etangs littoraux de la Narbonnaise. 10) Camargue. 11) Stagno di Cagliari. 12) Ghadira. 13) Torre Guaceto. 14) Saline di Margherita di Savoia. 15) Laguna di Marano. 16) Secoveljske soline. 17) Lake Shkodra and River Buna. 18) Messolonghi Lagoons. 19) Kotychi Lagoons. 20) Axios, Loudias, Aliakmon Delta. 21) Lake Vistonis, Porto Lagos. 22) Evros Delta. (Rodellas, 2008).

2.1.1.1. Zones humides a la costa de la Comunitat Valenciana.

Un 2,45% dels aiguamolls inventariats a l'Estat Espanyol estan situats a la costa mediterrània (Duran *et al.*, 2004) i la Comunitat Valenciana, al llarg de la seva extensió, alberga un gran nombre d'aquests. Entre aiguamolls interiors, marjals, albuferes, saladers litorals, ambients fluvials, embassaments i brolladors, existeixen un total de 48 sistemes (amb un total de 44.862 ha) inventariats pel Catàleg de les Zones Humides de la Comunitat Valenciana, relatiu a aquells aiguamolls que per la seva importància o significació mereixen una atenció especial a nivell comunitari. De nou, cal tenir en compte que aquesta catalogació no contempla totes les zones humides, ja que exclou aquelles que el seu interès es limita a un àmbit local (Domenech, 2003).

Els diferents aiguamolls catalogats s'agrupen en sis sistemes diferents, el més representatiu dels quals (i més interessant atenent l'àmbit d'estudi) és "Albuferes, marjals litorals i ambients associats", que compta amb 14 unitats que representen el 77,6% de la superfície total catalogada. La distribució d'aquest aiguamolls al llarg de la costa valenciana és força homogènia, amb 4 zones a Castelló (entre elles, la Marjal de Peníscola), 6 a València i 4 a Alacant (Catàleg de les Zones Humides de la Comunitat Valenciana). La majoria d'aquestes zones humides s'assenten sobre les extenses planes valencianes, que ocupen la major part del litoral valencià i són responsables de la gènesis d'aquests aiguamolls (Ballesteros *et al.*, 2004).

2.1.2. La problemàtica de les zones humides.

Durant el segle passat es va identificar una pèrdua i degradació a nivell mundial de les zones humides, especialment en els països mediterranis (www.medwet.org). Segons la OCDE, en la major part dels estats de la Unió Europea, el desenvolupament de la població ha suposat la desaparició de més del 55% dels aiguamolls, uns valors que arriben fins al 60% en el cas de l'Estat Espanyol (Ballesteros, 2003). En el cas de la Comunitat Valenciana, les xifres són similars: durant els últims 50 s'han destruït al voltant del 60% de la superfície ocupada per les zones humides, especialment en les àrees properes al litoral (Domenech, 2003).

La principal causa d'aquesta dinàmica negativa és la forta pressió urbanística a què estan sotmesos els aiguamolls costaners, ja que les planes litorals on s'assenten alberguen la major part de la població de la regió (Ballesteros *et al.*, 2004); en el cas de la Comunitat Valenciana, el 80% de la població es localitza en àrees per sota d'una cota de 100 metres (Domenech, 2003). Cal considerar també la importància dels sectors econòmics que es desenvolupen al litoral, que representen vora el 90% del PIB de la Comunitat Valenciana (Domenech, 2003). A més, aquesta pressió urbanística, tant per la seva topografia com per la seva localització a primera línia de costa, la pressió recau sobre sorrencs litorals, imprescindibles pel manteniment de la zona humida (Domenech, 2003).

L'elevada densitat econòmica i demogràfica provoca un augment i concentració de les captacions hídriques en zones properes a la costa, provocant descensos locals o generals en

les piezometries dels aquífers associats als aiguamolls (Ballesteros, 2003). Als aquífers del litoral valencià, des de l'inici del control piezomètric a l'any 1973, s'ha observat una disminució progressiva del nivell piezomètric (fins a valors de l'ordre de 3-4 metres en les zones més interiors i de 0,5-1 metres en les zones costaneres), atribuïdes a l'augment de les extraccions d'aigua i a un període sec (Domenech, 2003). En els darrers anys però, aquesta tendència negativa s'ha estabilitzat i les variacions piezomètriques actuals són producte únicament de les oscil·lacions en la precipitació (Ballesteros et al., 2004). En casos extrems, l'explotació massiva d'aquests recursos subterranis ha arribat a invertir el gradient hidràulic, amb aquífers amb piezometries gairebé permanentment per sota del nivell del mar; els màxims del litoral valencià s'han detectat a la Plana de Castelló, amb un nivell piezomètric de -7 msnm (Ballesteros et al., 2004).

Per una banda, les depressions piezomètriques de l'aquífer associat (o fins i tot de l'aquífer de vora) deriven en una disminució de les aportacions hidrològiques a les marjaleries que pot tenir una influència directa en la degradació d'aquestes (Ballesteros, 2003). Per altra, una disminució de la piezometria facilita la intrusió marina i la salinització dels aquífers, i conseqüentment, la salinització de les marjals i albuferes; Al litoral valencià, s'han trobat en zones costaneres concentracions de clorurs de 5.000-6.000 mg/L amb piezometries per sota de la cota zero, mentre que en les zones més allunyades el contingut de clorurs és de 100-150 mg/L (Ballesteros et al., 2004). A la modificació de la falca marina, cal sumar-hi el drenatge dels aiguamolls i la deficiència en la construcció dels punts de captació i sondeig, que poden provocar el trencament dels llits superficials i la interconnexió entre nivells d'aquífers superficials amb nivells inferiors d'aigües salines (Moore, 1996).

A banda de la contaminació per salinitat i la disminució de les aportacions a les zones humides, les aigües de les marjals i albuferes freqüentment es troben contaminades per la incorporació directa a l'ambient hídic de substàncies tòxiques i nutrients derivades de la intensa activitat agrícola, urbana i industrial (Ballesteros et al, 2004; Moore, 1996).

La implantació de mesures de protecció és imprescindible per fer front a aquestes causes i evitar la degradació de les zones humides, però els interessos socials i, principalment, econòmics dificulten l'aplicació d'aquestes mesures (Ballesteros, 2003).

2.1.3. Les marjals. Característiques i fluxos.

Una marjal es defineix com un aiguamoll litoral amb una confluència d'aigües de diferent procedència, i amb terra bona per al conreu d'horta (definició extreta del diccionari de l'Institut d'Estudis Catalans). Les marjaleries litorals tenen diversos elements fisiogràfics en comú, tant pel que fa a la seva estructura com a la hidrografia. La major part d'aquests aiguamolls s'assenta sobre extenses planes de deposició al·luvial, antigues depressions topogràfiques reomplertes gràcies a l'erosió de materials de les zones circumdants i el transport fluvial. Per

aquesta raó, en les zones superficials de les planes hi predominen materials solts i força heterogenis. A grans trets, pot diferenciar-se una formació detrítica superior de caràcter permeable, una formació margo-argilosa intermitja impermeable i un substrat inferior de litologia variable. A la part superior s'hi conformen aqüífers de multicapa constituïts per sorres, graves i conglomerats dins d'una formació argilol·limosa (Rodellas, 2008).

El substrat també pot donar lloc a la formació d'aqüífers quan està constituït per sediments carbonatats (Ballesteros et al, 2004). Ambdós aqüífers (el de multicapa i el del substrat) són susceptibles de patir processos de carstificació i és freqüent la formació de terra rossa a les fractures creades per carstificació. La terra rossa és una barreja de residus insolubles derivats de la dissolució de carbonats, amb un contingut granulomètric al voltant d'un 90% d'argiles i està caracteritzada per una manca de matriu carbonatada i per un color rogenc derivat de la presència d'hidròxids de Fe (Spizzico, 2005; Vaupotič et al., 2007). La formació de sòls derivats de l'acumulació d'aquesta terra rossa és comuna a tots els països del nord de la Mediterrània (Kukoc, 1980).

Els aqüífers que alberguen les planes litorals són gairebé imprescindibles pel desenvolupament de les marjalleries, ja que la major part d'aquest aiguamolls presenten una certa dependència de les aigües subterrànies (Duran *et al.*, 2004). També és comuna i imprescindible l'existència d'un cordó litoral sorrenc d'origen detrític que separa les zones humides del mar i permet l'acumulació del material aportat per les aigües que la nodreixen (Ballesteros, 2003).

El manteniment d'una marjaleria està estretament lligat a les aportacions hídriques, ja siguin superficials o subterrànies, tot i que les darreres acostumen a ser més rellevants (Rodellas, 2008). Per una banda, les aportacions superficials estan controlades per la conca, la superfície on les aigües d'escorrentia superficial drenen directament cap a l'aiguamoll, i per altra banda, les aportacions subterrànies estan controlades per l'aqüífer associat, els recursos hídrics del qual drenen directament cap a la zona humida. Aquestes aportacions poden ser de caràcter difús o bé puntuals a través dels "ullals". L'aqüífer associat pot ser de base, si constitueix el substrat geològic de l'aiguamoll, o lateral, si l'aqüífer està situat en posició contigua i la recàrrega de la zona humida és a través de fonts visibles procedents de l'aqüífer (Rodellas, 2008). Sovint, l'aqüífer associat està connectat hidràulicament i de forma subterrània a altres aqüífers propers que l'alimenten, els aqüífers de vora, i per tant que nodreixen també les zones humides (Ballesteros, 2003).

El funcionament d'una marjaleria ve determinat pels fluxos hídrics que hi intervenen, que segueixen una estructura segons la Figura 2.2 i la Figura 2.3 (Ballesteros, 2003):

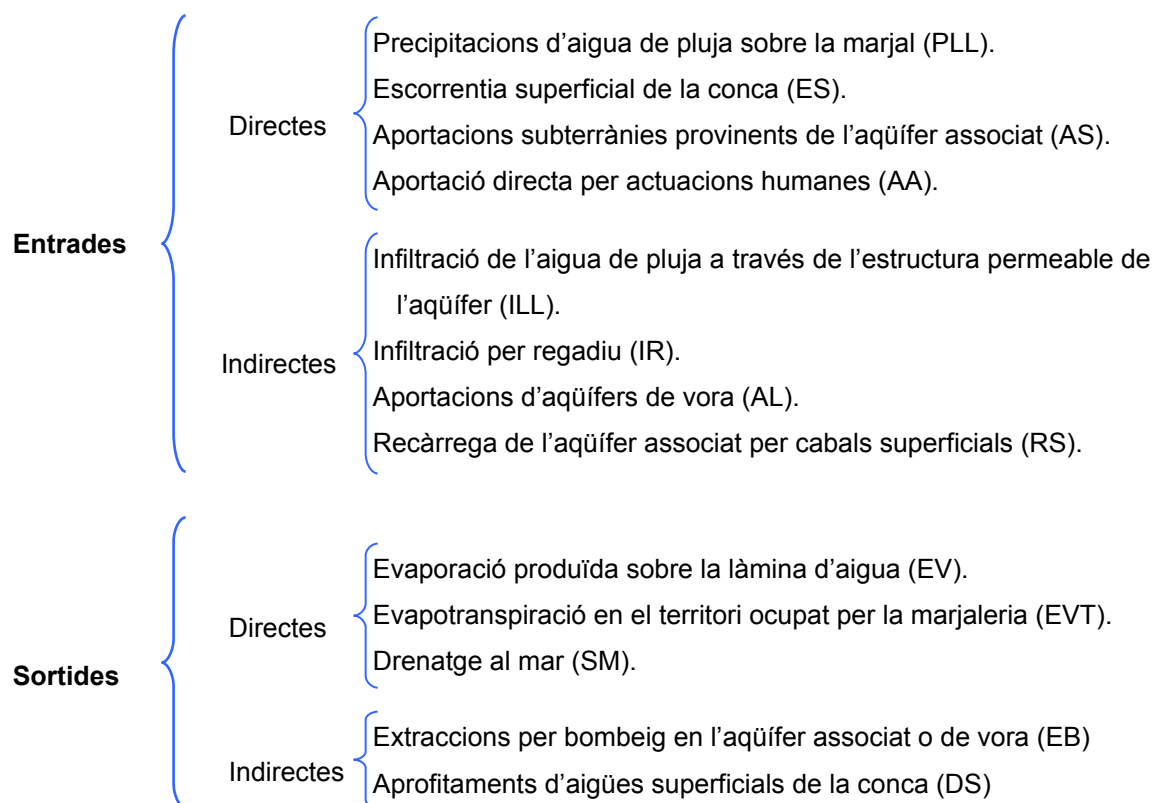


Figura 2.2. Fluxos d'entrada i sortida en una marjalera (elaboració pròpia a partir de Ballesteros, 2003).

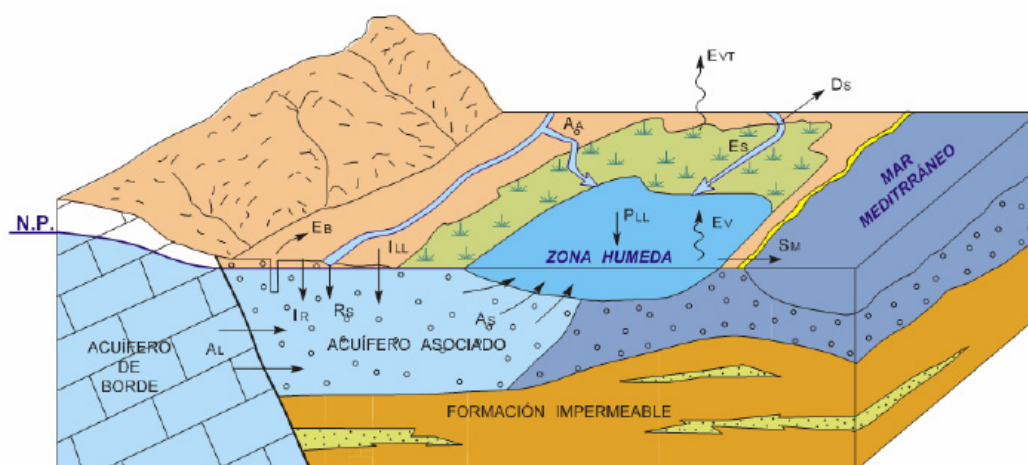


Figura 2.3. Esquema dels elements que integren el balanç hídric d'una zona humida litoral amb presència de restinga (Ballesteros, 2003).

2.1.3.1. Comportament i fluxos dels radionúclids en una marjal.

Unes de les característiques més importants de les marjalleries en relació al comportament dels radionúclids són els forts gradients de concentració i composició que es desenvolupen al seu interior degut a la mescla d'aigua dolça, amb aigua procedent del mar. Conseqüentment, cada radionúclid, segons les seves característiques geoquímiques, té un comportament diferencial que permet en molts casos estudiar la dinàmica d'aquests sistemes (Gonneea *et al.*, 2008). Entre aquests gradients, cal destacar la variació en la composició i concentració de matèria particulada, d'espècies orgàniques i inorgàniques, així com la variació dels paràmetres físico-químics de l'aigua (Swarzenski *et al.*, 2003). En aquest sentit, es pot assimilar la definició de marjaleria a la d'estuari, definit com les zones on conflueixen les aigües subterrànies o fluvials i les aigües de l'oceà, és a dir, l'ambient on l'aigua dolça es mescla amb l'aigua salada (Moore, 1992).

Per entendre el comportament dels radionúclids a les marjals, s'ha de tenir en compte, per una banda, els fluxos responsables de les aportacions o les pèrdues de radionúclids a la marjal (comportament físic), i per altra, el comportament dels radionúclids al llarg de l'aiguamoll degut als processos de mescla i als gradients esmentats (comportament químic). En aquest apartat es descriu un resum general del comportament dels radionúclids en una marjaleria depenent dels fluxos que es donin.

Intercanvi amb l'aigua de mar

La concentració de radionúclids en l'aigua de mar és relativament uniforme, tot i que poden existir variacions locals degudes a processos costaners d'aflorament (Swarzenski *et al.*, 2003). Tenint en compte el sentit continent-mar de l'aigua de l'estuari, les pèrdues de radionúclids cap a l'aigua de mar són molt elevades, mentre les aportacions d'aquesta per la boca de l'estuari són molt reduïdes.

Aportacions fluvials

Les aportacions fluvials són una de les entrades més variables al sistema. Els factors més importants a l'hora de justificar aquesta variabilitat són les característiques i la concentració de partícules, col·loides i lligands orgànics i inorgànics que poden complexar o adsorbir els diferents radionúclids, facilitant la seva mobilització (Swarzenski *et al.*, 2003). De fet, fraccions significants de l'urani transportat per un riu estan associades a partícules en suspensió tot i tractar-se d'un radionúclid soluble en aigües oxidades (des d'un 20% fins a un 90% en rius rics en matèria orgànica; Chabaux *et al.*, 2003), la major part del tori és transportat en la forma particulada (més del 95%; Chabaux *et al.*, 2003) i l'adsorció de radi sobre les partícules també és probablement el principal procés encarregat de la mobilització del radi als rius (Chabaux *et al.*, 2003).

Els aportos fluvials depenen àmpliament del substrat per on transcorre el riu. De tota manera el flux fluvial acostuma a ser un petit component dels balanços a l'aiguamoll (Rodellas, 2008).

Intercanvi sòl/aigua i atmosfera

La difusió del radó des de l'aigua o el sòl fins a l'atmosfera és una de les principals pèrdues d'aquest radionúclid a les marjaleries, responsable, també, del trencament de la cadena radioactiva. L'atmosfera pot ser també una font de radionúclids, com en el cas del ^{210}Pb (Swarzenski *et al.*, 2003).

Intercanvi amb els sediments

Els sediments poden alliberar els radionúclids que es produeixen dins del sediment, els radionúclids dipositats a la superfície dels sediments en la precipitació, o aquells que es mobilitzen a través de transformacions dels sediments, com ara canvis en les condicions redox (Swarzenski *et al.*, 2003). Posteriorment, els radionúclids poden ser transportats des dels sediments fins a la columna d'aigua de la marjaleria a través de processos de desadsorció, de difusió des de les aigües intersticials i de resuspensió dels sediments (Krest *et al.*, 1999). Per altra banda, també es pot donar el procés invers, amb l'adsorció dels radionúclids més reactius sobre les partícules i la posterior sedimentació (Swarzenski *et al.*, 2003).

Desintegració radioactiva

En el cas de radionúclids de vida curta, la desintegració radioactiva és un procés important d'eliminació dels radionúclids del sistema, però perd transcendència en els radionúclids de vida llarga. Cada pèrdua per desintegració d'un radionúclid però, implica la generació d'un radionúclid nou (Swarzenski *et al.*, 2003). Les característiques de cada element redistribuiràn aquests radionúclids dins el sistema.

Aportacions de les descàrregues d'aigües subterrànies submarines (SGD)

Les descàrregues d'aigües subterrànies submarines són un dels major component en els balanços de diversos radionúclids, i són també una important font de nutrients, metalls i altres constituents dissolts (Rama i Moore, 1996; Beck *et al.*, 2007; Garcia-Solsona, 2008). Les descàrregues d'aigües subterrànies submarines consisteixen en la mescla en els aquífers costers de l'aigua subterrània amb l'intrusió marina abans de descarregar en els estuaris (Moore, 1999). Aquestes descàrregues subterrànies són uns fluxos variables tant espacialment com temporalment (Rama i Moore, 1996).

2.2. La Marjal de Peníscola.

La Marjal de Peníscola forma part de la comarca d'El Baix Maestrat, situada a la part septentrional del litoral mediterrani de la Comunitat Valenciana, a la província de Castelló. Aquesta marjal es troba al nord del nucli antic de Peníscola, tot i que el creixement urbanístic de la població ha rodejat la marjal (Figura 2.4.). L'origen d'aquest creixement es deu principalment a l'activitat turística; a tall d'exemple, mentre la població actual censada a Peníscola és de 6.432 habitants, es comptabilitzen un total d'unes 22.000 places d'allotjament turístic, a les que cal sumar-hi les més de 4.000 places dels càmpings (INE, 2006).

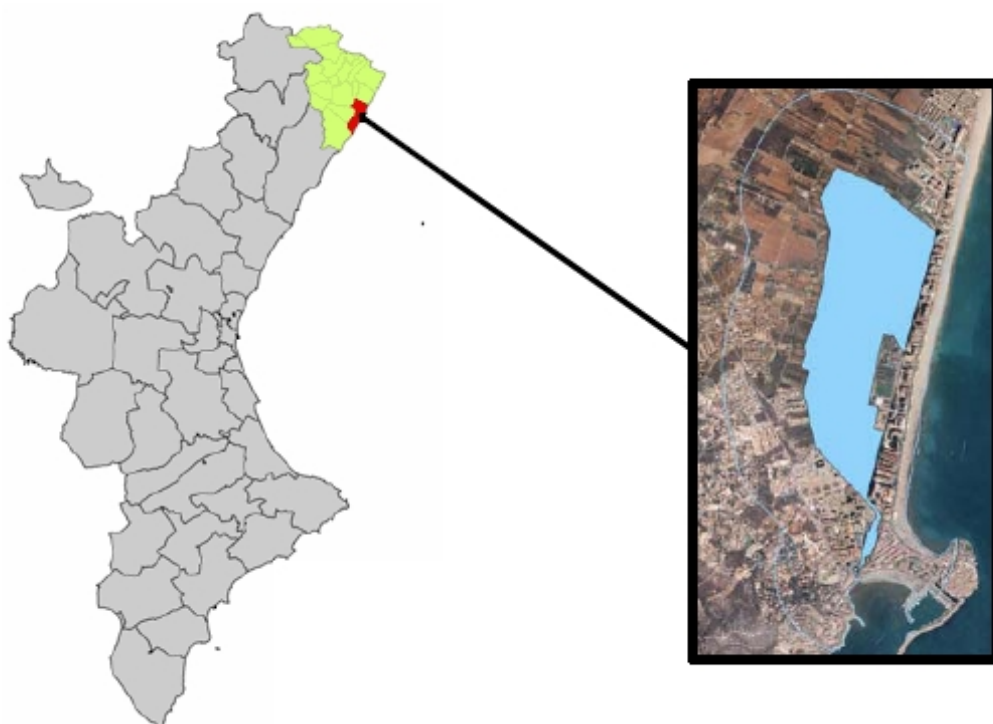


Figura 2.4. Localització de Peníscola (en vermell) a la comarca d'El Baix Maestrat (en verd) i a la Comunitat Valenciana (en gris). A la dreta, àrea ocupada per la Marjal de Peníscola i límit d'influència de la marjal, segons el Catàleg de Zones Humides de la Comunitat Valenciana (Rodellas, 2008).

La Marjal de Peníscola és un aiguamoll litoral amb una extensió d'unes 105 ha, on s'inclueix íntegrament la zona humida i la franja de protecció medioambiental que formen els cultius de la zona oest. Es diferencien tres canals principals (Sèquia Templera, Sèquia del Rei i Sèquia de la Sangonera) que conflueixen abans de desembocar al mar (Figura 2.5.). La seva alimentació presenta una total dependència de les aigües subterrànies, i es du a terme de forma difusa i a través d'ullals. En els mesos humits de l'any la làmina d'aigua cobreix bona part de la marjalera, facilitant el desenvolupament de la vegetació aquàtica i palustre que domina l'ecosistema (Rodellas, 2008).



Figura 2.5. Imatge aèria de la Marjal de Peníscola, amb les sèquies principals remarcades (en groc). S'hi esquematitza el límit (en taronja) entre l'aquífer de base (Vinaròs-Peníscola) i l'aquífer de vora (Maestrat), i s'indiquen algunes edificacions properes a la marjalera (Rodellas, 2008).

La Marjal de Peníscola està situada al límit meridional de la Plana litoral de Vinaròs- Peníscola, emplaçada al Sistema hidrogeològic homònim. La marjal limita també amb el sistema hidrogeològic del Maestrat. De fet, la Marjal de Peníscola està associada a l'aquífer de la Plana Vinaròs-Peníscola, del qual l'aquífer juràssic del Maestrat n'és l'aquífer de vora, transferint-li els seus recursos hídrics de forma subterrània (Ballesteros, 2003). Ambdós aquífers doncs, són els responsables de les descàrregues d'aigua subterrània a la marjal (Figura 2.6.).

Tot i la forta pressió urbanística a què està sotmesa, la marjal conserva gran part de les seves característiques naturals que l'han permès incloure a diverses figures de protecció, a destacar el Catàleg de Zones Húmedes de la Comunitat Valenciana i el llistat de Llocs d'Interès Comunitari. En els catàlegs es destaca la importància de la marjal com a hàbitat d'una de les majors poblacions mundials del samaruc (*Valencia hispanica*). En la valoració també es considera que la marjal alberga una de les últimes reserves mundials del fartet (*Aphanius iberus*), l'última reserva europea del cargol *Melanoides tuberculata* i diverses espècies d'aus. Des del 2004, la Marjal de Peníscola s'ha inclòs dins del Pla de Recuperació del Samaruc i el Pla de Recuperació del Fartet, amb la finalitat de protegir l'hàbitat per impedir l'extinció d'aquestes dues espècies endèmiques espanyoles (Annex A.1).

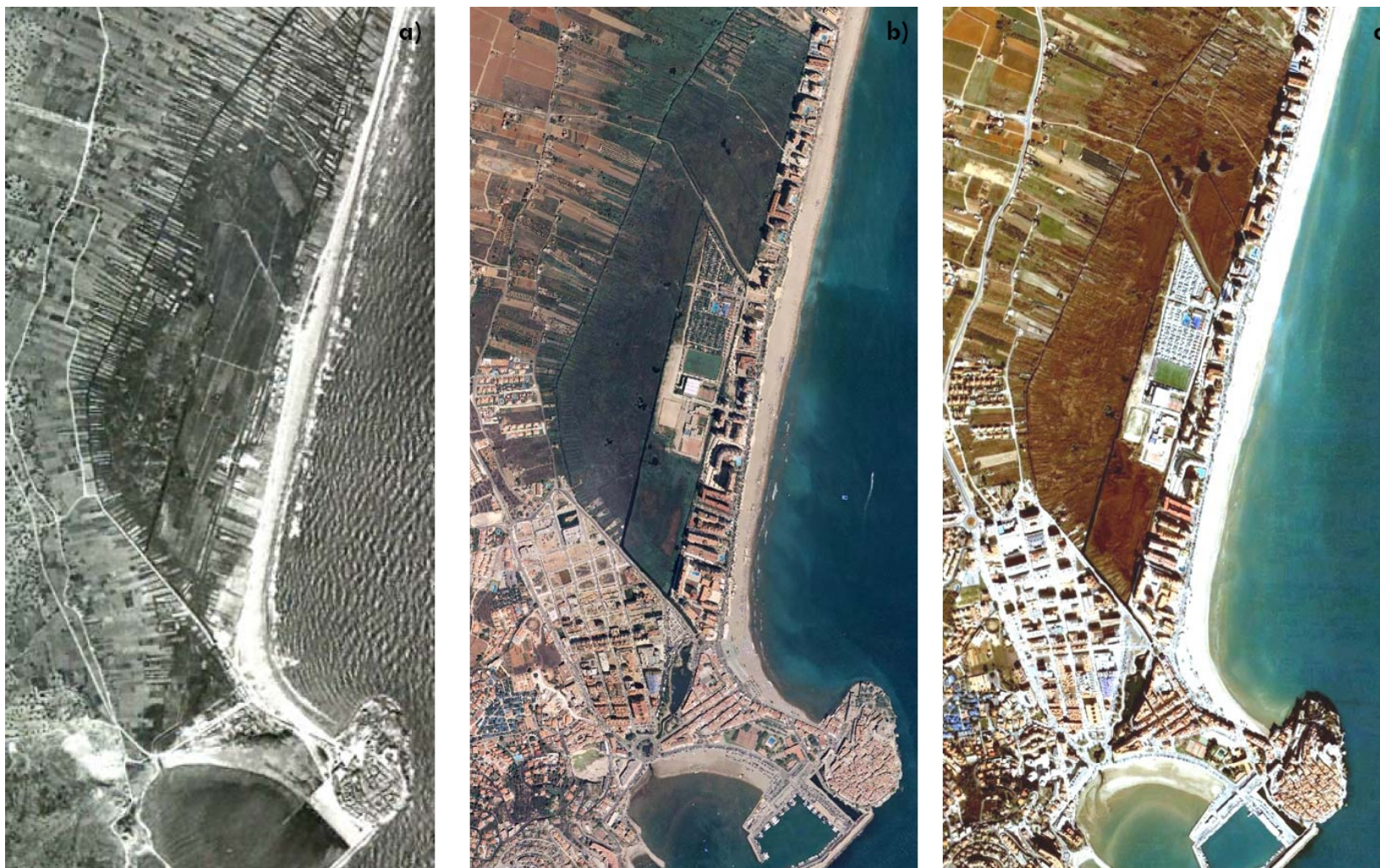


Figura 2.7.: Principals modificacions de la Marjal de Peníscola al llarg de l'últim segle. a) La marjal als anys 50; La Sèquia Templera actua com a canal principal. b) Imatge al 2004; la prolongació el camí de l'Assegador de la Creu provoca el desviament de la Sèquia Templera cap a la zona central de la marjal. c) Imatge al 2008; en el desenvolupament del projecte de regeneració i adequació de la marjal es regeneren diversos ullals en la zona nord de la marjal i es crea un itinerari ambiental (Rodellas, 2008).

2.2.1. Distribució dels radionúclids naturals a la Marjal de Peníscola.

En aquest apartat es presenten les principals conclusions de l'estudi "*Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La Marjal de Peníscola*" (Rodellas, 2008), punt de partida del present treball i a partir del qual s'ha distribuït el mostreig. Es prestarà especial atenció, per l'interès del present treball, a la distribució del ^{226}Ra i ^{222}Rn en aigua.

Així, en aquest estudi els resultats de l'anàlisi de sòls de la Marjal mostren diferències significatives en la concentració i distribució dels radionúclids al llarg de la marjal. El cas més rellevant és el del ^{226}Ra que presenta unes activitats extremadament altes i una gran variabilitat espacial. Les elevades activitats específiques dels sòls, molt més altes que en els altres aiguamolls de la Comunitat Valenciana, podrien atribuir-se a dos factors; la presència d'una zona minera rica amb concentracions elevades d'urani i la concentració del ^{226}Ra en la *terra rossa* en el seu procés de formació. Tanmateix, cap d'aquests factors per sí sols sembla justificar les elevades activitats observades a la marjal, suggerint la combinació d'ambdós factors com la causa d'aquestes activitats. La variabilitat espacial pot derivar de diferències en la sedimentació de les partícules depenent de la seva proximitat als punts de descàrrega d'aigües subterrànies a la marjal. No es pot descartar però, que la variabilitat espacial depengui de diferències cronològiques en la sedimentació.

Les concentracions de ^{238}U observades als sòls de la marjal són massa reduïdes per generar les activitats de ^{226}Ra reportades. Les baixes activitats quantificades de ^{238}U al sòl i les concentracions lleugerament reduïdes de la columna d'aigua, suggereixen que una part important de l'urani no arriba a la marjal. La hipòtesi que sembla més viable es basa en un transport selectiu del ^{226}Ra en detriment del ^{238}U , derivat de les diferències en l'afinitat d'aquests radionúclids per la caolinita.

S'observen també diferències entre l'activitat del ^{226}Ra i del ^{228}Ra que s'atribueixen a diferències en les concentracions a la roca mare de l'aqüífer dels radionúclids primordials de les seves respectives cadenes de desintegració.

Les diferències entre la salinitat de l'aigua subterrània que entra a la marjal i l'aigua que desemboca al mar procedent d'aquesta, evidencien una forta salinització de l'aigua de la marjal. Aquest augment de la salinitat probablement deriva de la interacció de l'aigua de la marjal amb l'aigua de mar a través de la falca marina. La salinització del sistema és força constant al llarg de tota la marjal, tot i que s'intueixen algunes entrades d'aigua salada localitzades i variacions importants en les zones de recàrrega.

Les activitats de tots els isòtops de radi a l'aigua de la marjal són molt elevades, especialment les activitats de ^{226}Ra (amb valors màxims de $3.000 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). Les diferències entre les activitats

dels quatre isòtops són considerables, i poden explicar-se per la diferent presència d'aquests al sediment. L'activitat de tots els isòtops de radi a l'aigua presenta una forta correlació positiva lineal amb la salinitat al llarg de tot el rang estudiat, que suggereix que és el paràmetre més important a l'hora de determinar el seu comportament. També s'observen fortes correlacions entre les activitats de tots els isòtops de radi, manifestant l'idèntic comportament químic de tots ells.

Es consideren dues fonts de radi principals a l'aigua de la marjal: el radi provinent de la difusió dels sediments i el derivat de la desadsorció de les partícules. Tanmateix, la desadsorció del radi de les partícules dels sediments i de les partícules en suspensió es considera la font més important d'aquest element a la columna d'aigua; La justificació d'això és la forta correlació de les activitats de radi amb la salinitat independentment de l'activitat dels sediments i el fet que la difusió per si sola no podria mantenir permanentment les activitats observades a la marjal.

Les activitats de ^{222}Rn a l'aigua de la marjal també són extremadament elevades, amb màxims al voltant de $600 \text{ kBq}\cdot\text{m}^{-3}$. La distribució espacial del ^{222}Rn a l'aigua segueix un patró molt similar al del ^{226}Ra dissolt. De fet, les activitats d'aquests radionúclids presenten correlacions positives que evidencien la forta dependència del ^{222}Rn respecte el ^{226}Ra . Tanmateix, les concentracions de ^{226}Ra dissolt observades a la marjals poden generar menys de l'1% del ^{222}Rn reportat a l'aigua, el que evidencia la importància del flux difusiu de radó des dels sediment i les partícules per justificar aquestes altes activitats. Si bé s'observa una relació entre l'activitat de ^{222}Rn de l'aigua i la salinitat d'aquesta, aquestes relacions s'atribueixen al comportament del ^{226}Ra , que si que depèn de la salinitat.

La influència de l'activitat humana sobre la Marjal de Peníscola pot haver incrementat les concentracions dels radionúclids a l'aigua de la marjal. Les causes principals d'aquest possible increment deriven de l'explotació d'aigües subterrànies, del desviament de la Sèquia del Rei i del programa de regeneració ambiental i adequació a l'ús públic de la marjal.

3. MOSTREIG I MÈTODES D'ANÀLISI

3.1. Mostreig

Per tal d'aconseguir una bona distribució dels punts de mostreig durant la campanya, es va dissenyar una distribució de dosímetres arreu de la marjal a partir dels valors de radi obtinguts en l'estudi previ "*Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La marjal de Peníscola*" (Rodellas, 2008) (Figura 3.1). També es va fer una tria dels recintes tancats més significatius que es troben al voltant de la marjal on es va creure interessant mesurar de manera tant integrada com puntual, les concentracions de ^{222}Rn en aire.

D'aquests darrers indrets, es va valorar, en primer lloc, que estiguessin distribuïts al voltant de la marjal i que tinguessin algun interès afegit, com pot ser un local públic, o un lloc de treball que aculli treballadors i/o usuaris. En total es van seleccionar 7 recintes tancats (el Palau de Congressos de Peníscola, l'escola Jaime Sainz, el càmping Edén, la depuradora de la localitat, Seu central de FACSA a la població, La font de Dins, l'Hotel Marina i en una caseta d'eines d'un particular situada dins la part nord de la marjal anomenada Les Argires).

A l'inici de la campanya es van mantenir reunions amb els responsables de cada un dels indrets, on se'ls va informar sobre la problemàtica del radó, l'objectiu de l'estudi i es demanava la seva col·laboració.

Per últim i com a mesura complementària, es va estudiar l'exhalació de radó procedent de tres sòls de l'interior de la marjal, dos en una zona amb una alta activitat de ^{226}Ra i un en una zona amb poca activitat d'aquest radionúclid.



Figura 3.1: Punts de mostreig en l'àrea d'estudi de la marjal de Peníscola: Mesures integrades (●), mesures puntuals (★) i mesures en sòl (◆).

3.1.1. Mesures integrades en aire.

Arreu la marjal, en els punts d'exterior i en els d'interior, es van realitzar mesures integrades mitjançant el detector passiu sòlid de traces nuclears (DSTN) Makrofol-DE¹ (Fabricat per Bayer MaterialScience AG, Bayerwerk, 51368 Leverkusen, Alemanya). Amb aquest detector es van aconseguir valors mitjans de la concentració de radó en cada un dels indrets durant els dos i quatre mesos que van estar exposats. La distribució dels mateixos apareix a la Figura 3.1, tenint en compte que per cada punt es van instal·lar dos makrofols.

Dels 64 dosímetres instal·lats en el conjunt de la marjal i en els instal·lats a llocs de treball, cal anomenar la desaparició d'un total de 9: 3 punts sencers (punts 36, 34a i ES3) i 3 dosímetres solts, (punts I, 14 i 6).

3.1.2. Mesures integrades en el sòl.

Com a mesura complementària als mostrejos en aire exterior, també es va procedir a recollir mostres sobre l'aire exhalat del sòl de la marjal. Per fer-ho, es van mostrejar tres punts (Figura 3.1): dos d'ells en una zona amb una elevada concentració ²²⁶Ra en el sòl (aprox. 530 Bq·kg⁻¹) propers als ullals de la marjal, anomenats punts A i B, el dia 20 de juliol del 2008 i un anomenat punt C, proper al punt 35, més llunyà al mar i amb baixa concentració de ²²⁶Ra (aprox. 80 Bq·kg⁻¹) el 21 de juliol de 2008 (Rodellas, 2008). El detector utilitzat va ser el LR 115 (Dosirad Co, França) .



Figura 3.2: Tub i detector LR115 per a la mesura de ²²²Rn exhalat del sòl en el punt A.

3.1.3. Mesures puntuals en recintes tancats.

La recomanació relativa a la protecció de la població contra els perills d'una exposició al Rn en l'interior del edificis (90/143/EURATOM) estableix que els nivells de Rn recomanats en recintes tancats per ús públic o laboral no poden superar una concentració mitjana anual de 400 Bq·m⁻³. Segons aquest criteri es van seleccionar aquells recintes que podien superar els nivells de radiació recomanats per a la treballadors, usuaris i/o població en general. Les mesures es van portar a terme mitjançant un equip DURRIDGE RAD7 (Fabricat per DurrIDGE Company, 7

Railroad Ave., suite D, Bedford, MA 01730, EEUU), que és un detector semiconductor actiu i que realitza mesures en continu.

Els emplaçaments triats per fer les mesures puntuals en continu van ser 4: el Palau de Congressos de Peníscola, l'escola Jaime Sainz, el càmping Edén i la depuradora de la localitat. En tots aquests llocs, com ja s'ha vist, també es van realitzar mesures integrades amb el detector de makrofol. El número de mesures a cada recinte i la data de cada una d'aquestes mesures es veu resumit en la Taula 3.1.

Taula 3.1. Mesures en continu amb el detector RAD7.

Lloc	Codi	Data mesures		Total mesures
		Inici	Fi	
Palau de Congressos	R1	21/02/08	01/03/08	3
	R2	21/02/08	01/03/08	
	R3	21/02/08	01/03/08	
Escola Jaime Sainz	R4	18/03/08	27/03/08	2
	R5	18/03/08	27/03/08	
Camping Eden	R6	18/05/08	23/05/08	2
	R7	18/05/08	23/05/08	
Depuradora	R8	28/12/07	30/12/07	9
		23/05/08	23/05/08	
		06/06/08	06/06/08	
		21/07/08	25/07/08	
	R9	06/06/08	06/06/08	
	R10	27/06/08	27/06/08	
		21/07/08	24/07/08	
	R11	27/06/08	27/06/08	
	R12	24/07/08	25/07/08	

De forma excepcional, també, es va procedir a dues mesures en continu al punt exterior PI, durant un període d'un dia.

Palau de Congressos

El Palau de Congressos és el centre cultural més important de Peníscola. En aquest, es realitzen cada setmana concerts de música de cambra i de grups musicals, obres de teatre i representacions diverses, així com tota mena de congressos i d'esdeveniments culturals que requereixin d'un local cobert. Està situat al sud oest de la marjal i té una extensió de 650 m². Té un aforament de fins a 700 espectadors i hi treballen un total de 8 persones, incloent tècnics, recepcionistes, acomodadors, seguretat, manteniment i neteja.

En aquest indret es van col·locar un total de 3 detectors actius del dia 21 de febrer de 2008 fins al dia 1 de març de 2008: dos al pàrquing (codi R1 pel més proper a la porta de sortida i R2 pel detector situat més al fons, al costat del dosímetre makrofol anomenat PC2) i un altre al soterrani, amb codi R3 i proper al Makrofol PC1.

C.E.I.P. Jaime Sainz

El C.E.I.P. Jaime Sainz és el col·legi d'educació infantil i primària públic de Peníscola. Limita a la marjal per l'est d'aquesta, i té una extensió de 956,5 m². Alberga 465 nens i nenes (curs 2007-08) d'edats compreses entre els 3 i els 12 anys, i un total de 58 treballadors entre professorat, pedagògues, neteja i manteniment i consergeria.

En aquest punt es van instal·lar dos detectors actius del dia 18 fins al 27 de març de 2008: un a la casa del conserge i menjador dels nens, contigu a la marjal i anomenat R4, i l'altre al despatx d'una de les professores, molt pròxim a les aules dels nens de P3, anomenat R5. Ambdós equips es van instal·lar al mateixos punts on hi havien emplaçats els dosímetres passius col·locats al col·legi.



Figura 3.3: Detector actiu Rad 7 per a la mesura de radó en aire a l'escola Jaime Sainz.

Càmping Eden

Aquest càmping està situat a l'est de la marjal, al nord de l'escola. Disposa, a més de la zona de càmping, d'un supermercat i d'un restaurant.

Es van instal·lar dos detectors actius: un al supermercat (punt R6, contigua al detector passiu CP2) i l'altre al taller del càmping, anomenat R7 i contigu a la marjal, entre el 18 de maig i el 23 de maig de 2008.

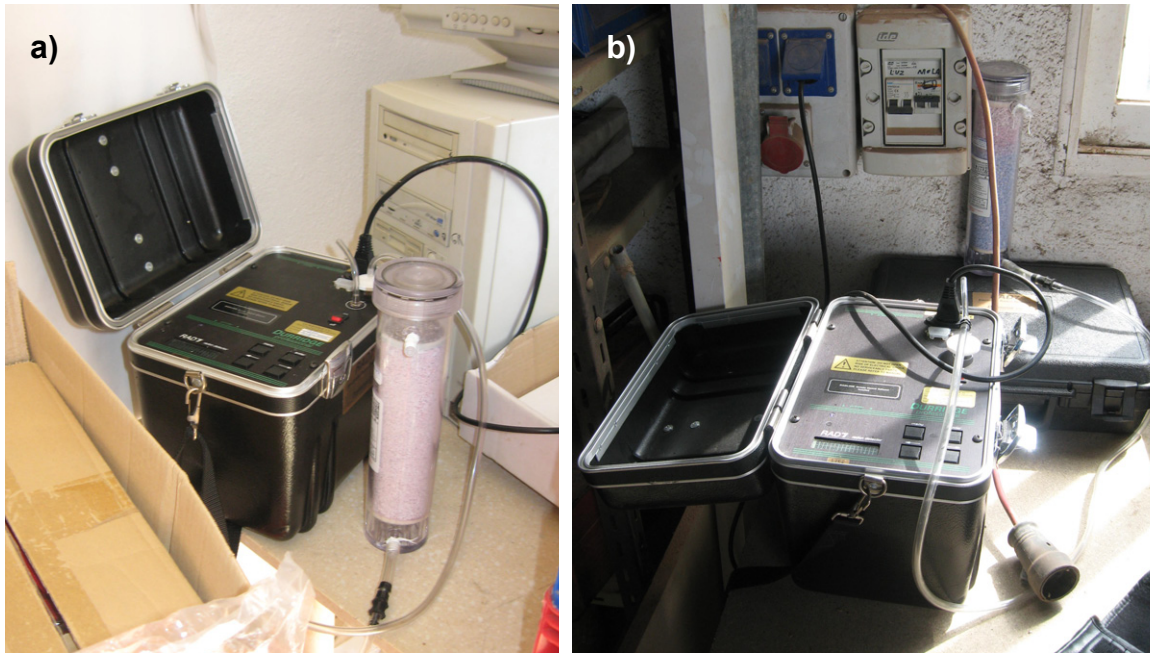


Figura 3.4: Detector actiu Rad 7 per a la mesura de radó en aire al càmping Edén; a) Punt R6, corresponent a la mesura en el supermercat. b) Punt R7, corresponent al taller i contigu a la marjal.

Depuradora

La depuradora de Peníscola està situada al sud de la marjal, contigua a l'edifici municipal que fins el 2007 acollia l'ajuntament i la policia de la localitat. Disposa únicament de pretractament i tractament primari juntament amb un emissari submarí que funcionen automàticament, de manera que només disposa d'un treballador pel seu manteniment diari. Està dissenyada per tractar un cabal màxim de $15000 \text{ m}^3 \cdot \text{d}^{-1}$, considerat el màxim per la temporada alta (juliol i agost), i la població horitzó per a la que es va dissenyar és de 75000 habitants (Manual de Funcionament de l'emissari submarí de Peníscola).

L'aigua tractada prové del clavegueram, el qual no disposa d'una separació entre aigües fluvials i aigües fecals, excepte en les zones urbanes més noves. Aquestes darreres zones, aboquen l'aigua de pluja i l'aigua freàtica que prové de la marjal a les fluvials, que posteriorment s'aboquen a la marjal; i les aigües de consum a les fecals, que van a la depuradora per tractar-se.

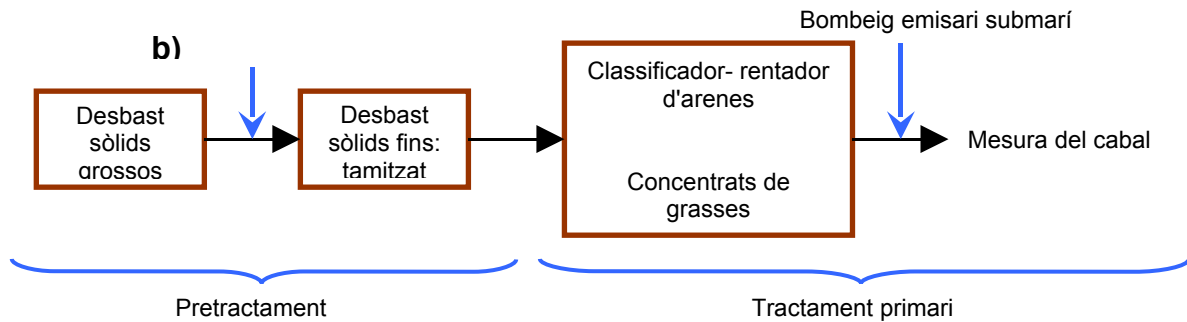


Figura 3.5: Esquema del tractament utilitzat en la depuradora de Peníscola.

La línia de tractament que segueix la depuradora està resumida en la Figura 3.4. L'aigua bruta entra a la depuradora i passa al desbast de sòlids grossos mitjançant la reixa de neteja automàtica de 50 mm. L'eliminació dels sòlids més fins que sobrepassen la reixa de grossos es realitzaran a través d'un tamís, el qual filtra tots els materials de més d'un mil·límetre de diàmetre, que van a parar, automàticament, a la zona d'evacuació dels mateixos.

L'eliminació per decantació de les grasses, floculs i arenes procedents de les aigües residuals s'efectua mitjançant el desarenador, que elimina partícules superiors a 20 micres. En aquest sistema, l'arena sedimenta fins al canal central de l'element. Abans però, s'ha injectat aire a l'aigua bruta per mitjà d'un bufador a través d'uns difusors col·locats al fons del desarenador. El desarenat té també la funció de desengrassant. L'aire injectat amb el bufador crea una turbulència helicoïdal a l'entrada de l'aigua bruta, de manera que les grasses es desemulsionen i la matèria orgànica es desprèn dels òbols d'arena. Aquestes grasses desemulsionades s'acumulen a dins del desarenador en les zones tranquil·les, on les rasquetes de superfície les transporten fins a un contenidor de flotants i grasses. Les arenes i olis, així com la resta de residus, són enviats a una empresa de tractament de residus.

A la sortida del desarenador- desengrassant, existeix un grup de bombeig a l'emissari submergit, situat aproximadament a uns 2000 metres del col·lector, on es realitza la medició del cabal. L'objectiu de la medició és tenir un control constant del cabal que permeti conèixer el volum de tractament.



Figura 3.6: Línia de tractament de la depuradora. a) Reixa de desbast de sòlids grossos; b) Tamís que separa els sòlids fins; c) Desarenador-desengrassador. En la imatge es poden veure la zona tranquil·la on s'acumulen els greixos.

A la depuradora s'han realitzat quatre mesures en continu (punt R8, proper al detector de makrofol D1) durant diferents períodes de temps: del dia 28 al 30 de desembre de 2007; el 23 de maig de 2008; el 6 de juny del 2008; i del 21 al 25 de juliol de 2008.

A més de les mesures dintre la depuradora, també s'han realitzat altres mesures en continu en punts propers a la mateixa:

- Punt R9, que coincideix amb el punt D2 del dosímetre passiu de Makrofol, corresponent al magatzem contigu a la depuradora, el dia 6 de juny de 2008.
- Punt R10, al pis superior de la depuradora, edifici on fins l'any 2007 havia estat situat l'Ajuntament, el dia 27 de juny de 2008, i del 21 al 24 de juliol de 2008.

- Punt R11, dos pisos per sobre de la depuradora (antic ajuntament), el dia 27 de juny de 2008.
- Punt R12, corresponent a l'antic emplaçament de la policia local de Peníscola, que es troba just al costat de la depuradora, entre el 24 i el 25 de juliol de 2008.



Figura 3.7: Detector actiu Rad 7 per a la mesura de radó en aire a diferents punts de la depuradora; a) Punt R8, a l'interior de la depuradora. b) Punt R10, corresponent al pis superior de la mateixa. c) Punt R9, magatzem contigu a la depuradora.

3.2. Mètodes d'anàlisi i mesura:

3.2.1. Detector passiu de Makrofol

El Makrofol-DE1 (Fabricat per Bayer MaterialScience AG, Bayerwerk, 51368 Leverkusen, Alemanya) és un detector passiu sòlid de traces nuclears (DSTN). El fet que no necessiti l'aport d'energia per funcionar durant la mesura el converteix en un detector òptim per fer llargues mesures de l'ordre de setmanes o mesos. Aquest tipus de detector es basa en el comptatge de partícules α procedents del radó i toró, i dels seus descendents: ^{218}Po , ^{214}Po i ^{216}Po , ^{212}Bi . En canvi, no registra les partícules més lleugeres que les α ni la radiació electromagnètica i, per tant, els descendents que són emissors β no hi deixen cap senyal.

Quan les partícules arriben a la superfície sensible del detector produeixen la ruptura de les macromolècules del material plàstic d'aquesta superfície, i originen el que es coneix com una traça.

Aquest detector Makrofol s'introdueix a l'interior d'una petita cambra de difusió per constituir el conjunt anomenat dosímetre. Per poder-lo col·locar dintre d'aquesta cambra, el detector té forma de disc de 2,1 cm de diàmetre, recobert amb una làmina de Mylar (Fabricat per DuPont Teijin Films, 1 Discovery Drive, Hopewell, VA 23860, EEUU) aluminitzat de 3 μm de gruix, la qual té la funció d'evitar la creació de càrrega estàtica a la superfície del detector, fet que podria afectar a la deposició dels productes de desintegració del radó. Al mateix temps l'efecte que produeix és el d'absorbir aproximadament 0,5 MeV de l'energia de les partícules alfa que arriben al detector. El material que forma la cambra de difusió és el policarbonat Makrolon, anomenat Makrofol (d'aquí li deu el nom al detector) i prové del centre de recerca Forschungszentrum Karlsruhe (FzK) (Hauptabteilung Sicherheit Messtelle für Festkörperdosimeter Herman-von-Helmholtz-Platz 1, 76344 Eggenstein-Leopoldshafen, Alemanya. <http://www.fzk.de>). Aquest plàstic és resistent als impactes i a la deformació per calor, a més de ser molt rígid. A més, aquest plàstic és elèctricament conductor per evitar una deposició anisòtropa dels descendents del radó a les parets interiors de la cambra i aconseguir que les partícules alfa que arriben al detector tinguin una deposició uniforme.

L'aspecte exterior d'aquest dosímetre és d'un cilindre de 2 cm d'alçada i 4 cm de diàmetre, i el seu interior és una semiesfera d'1,5 cm de radi, en la base de la qual hi ha una peça que subjecta el detector i el filtre (Figura 3.8). La tapa de la cambra de difusió té unes obertures que permeten l'entrada del radó i toró en el seu interior. Aquesta entrada es fa per difusió a través d'un filtre de fibra de vidre GF6 (Fabricat per Schleicher & Schuell MicroScience GmbH, D-37586 Dassel, Alemanya) de 36 mm de diàmetre que es col·loca just per sota de la tapa. La seva funció és la de protegir el detector dels aerosols, la pols i la humitat, així com la d'evitar l'entrada dels descendents del radó i del toró produïts fora de la cambra de difusió. Aquests descendents, que es poden trobar lliures o adherits en les petites partícules de pols o aerosols

que hi ha en suspensió a l'aire, queden retinguts a la seva superfície. Si bé dins la cambra de difusió només entren aquests dos gasos, amb el pas del temps, també tenim una certa concentració dels seus descendents, que es van desintegrant a mesura que ho fan els seus pares. Com que el procés de difusió no és instantani, sinó que els gasos tarden una mica en arribar a l'interior de la cambra, es produeix una disminució del 81% del toró, degut al seu curt període de semidesintegració ($T_{1/2} = 55,6$ s). Aleshores, el nombre d'àtoms formats dins la cambra també és menor (Amgarou, 2002).

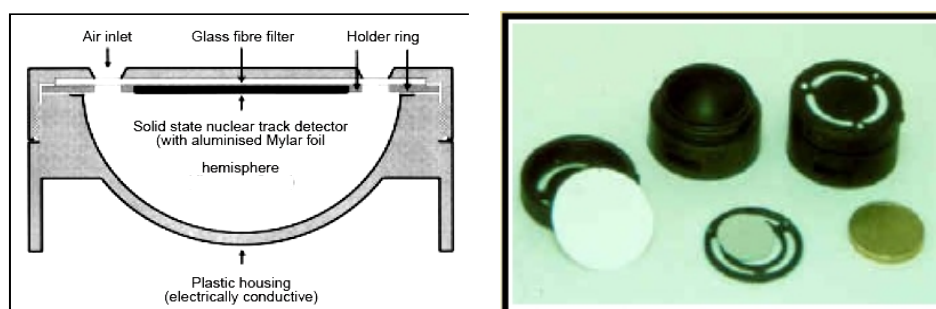


Figura 3.8: a) Tall transversal d'un dosímetre Makrofol (Kappel, 1997); b) Dosímetre montat i desmuntat amb les seves peces. S'aprecia el cilindre (color negre), el filtre (blanc) i la làmina de Mylar (Moreno, 2006).

Un factor que cal tenir en compte, a l'hora d'utilitzar els detectors Makrofol, és la humitat de l'ambient. Aquest dosímetre no tolera humitats elevades (per sobre d'un 70% aproximadament). Aquest fet s'ha de tenir present a l'hora de realitzar les mesures, especialment a l'exterior. A més, per tal que es produeixi una bona difusió dins la càmera, el detector ha d'estar sempre en posició horitzontal. Aquestes dues variables dificulten el treball de camp a l'hora d'utilitzar els Makrofols com a detectors de radó. A més, no existeixen mesures per detectar si un dosímetre ha estat exposat a elevada humitat, provocant un comptatge erroni i afectant per tant als resultats finals.

El revelatge electroquímic.

El revelatge electroquímic és un mètode de revelatge que combina un atac químic i l'acció d'un camp elèctric oscil·latori intens per tal d'augmentar la mida de les traces enregistrades en incidir les partícules α sobre el detector. Al final del revelatge les traces tenen un aspecte característic que s'assembla a un arbre. En el cas de tenir una densitat molt elevada de traces es poden produir solapaments entre elles, o també es poden produir taques anàlogues que poden dificultar la lectura.

El sistema de revelatge electroquímic que utilitza el Grup de Física de les Radiacions (GFR) de la Universitat Autònoma de Barcelona consta dels següents elements:

- Font d'alimentació alterna d'altres tensió i freqüència PTW-FG5 (Fabricada per PTW-Freiburg, Lörracher Str. 7, D-79115 Freiburg, Alemanya), amb els rangs de 200-1600 V per a la tensió eficaç i de 2500-5000 Hz per a la freqüència. Disposa d'un divisor de tensió per poder realitzar la lectura dels paràmetres elèctrics del revelatge electroquímic.
- Freqüentímetre (TEKTRONIX CFC240) (fabricat per Tektronix Inc. 1500 North Greenville Avenue, Richardson, TX 75081, EEUU) connectat a un selector. La lectura proporcionada quan el selector està a la posició 1, és 100 vegades el valor del corrent (en mA) que circula pel sistema de cel·les i a la posició 2, és la freqüència (en Hz) aplicada.
- Oscil·loscopi HAMEG HM 103 (fabricat per HAMEG Instruments GmbH, Industriestr. 6, D-63533 Mainhausen, Alemanya) per mesurar la tensió aplicada al sistema de cel·les.
- Estufa Selecta Digitronic (fabricat per J. P. Selecta s.a., Carretera Nacional II, km 585, 08630 Abrera (Barcelona), Espanya) amb circulació forçada d'aire i termòstat per mantenir la temperatura constant i homogènia en el seu interior durant el revelatge. Arriba fins a 200 °C amb una precisió de 0,1 °C.
- Mecanisme de seguretat que atura el subministrament elèctric en cas de produir-se un curtcircuit o quan s'obre la porta de l'estufa durant el revelatge.
- Sistema de cel·les de revelatge: 11 plaques rígides i 20 juntes flexibles, ambdues fabricades amb plàstic PVC i amb orificis per col·locar els detectors, 2 plaques d'acer inoxidable i 1 barra també d'acer. Cadascuna de les plaques rígides està perforada per la part superior per quatre forats que permeten la introducció de la dissolució reveladora i els elèctrodes, també d'acer inoxidable.

Per tal d'enregistrar les partícules α d'energies entre 3,0 i 5,0 MeV les condicions de revelatge electroquímic són:

- Pre-revelatge o revelatge químic:
 - Temperatura: 40 °C.
 - Agent revelador: KOH 6 N (1:1) etanol pur (96%).
 - Durada: 4h
- Revelatge electroquímic:
 - Temperatura: 40 °C.
 - Durada: 1,5 h.
 - Freqüència: 3 kHz.
 - Intensitat del camp elèctric: 31 kV cm⁻¹.

Per tal d'iniciar el revelatge dels detectors de Makrofol cal preparar, en primer lloc, el sistema de cel·les. Entre cada dues plaques rígides es col·loquen dues juntes flexibles, entremig de les quals s'hi posen dues làmines de detector de Makrofol, al qual se li ha extret, prèviament, la

làmina de Mylar aluminitzat. El conjunt queda subjectat entre les plaques d'acer inoxidable i la barra que travessa tot el conjunt de plaques i juntes. Les làmines han d'estar situades en els orificis circulars que tenen les juntes i les plaques.

Les superfícies sensibles dels detectors han de quedar orientades cap a les plaques parells del sistema, on posteriorment s'introdueix l'agent revelador.

Posteriorment, s'ha de realitzar un pre-escalfament d'un mínim de 4 hores de tots els objectes i dissolucions que hi intervenen al revelat, per tal que ja estiguin als 40 °C en el moment d'iniciar el revelat pròpiament dit. Els elements que cal ficar a l'interior de l'estufa són: sistema de cel·les (dins d'una palangana per si vessés la dissolució), elèctrodes i cables, dues provetes, recipient per preparar l'agent revelador, dos dosificadors per col·locar les dissolucions en els orificis de les plaques, i 100 ml de KOH 0,25 N, 50 ml de KOH 6N i 50 mL d'etanol de 96% de puresa, en recipients tapats per evitar l'evaporació.

Just abans de començar el revelatge es prepara l'agent revelador, és a dir, la mescla de KOH 6 N i l'etanol responsable de l'atac químic. Aquesta mescla s'ha d'agitar bé perquè quedi ben homogènia. A continuació es procedeix a injectar la dissolució KOH 0,25 N a les plaques imparells del sistema de cel·les i l'agent revelador a les parells. En el moment que l'agent revelador entra en contacte amb els detectors ja comença el revelatge químic. Després es col·loquen els elèctrodes i es connecten els cables. Finalment es retorna tot el sistema a l'interior de l'estufa. S'ha d'evitar el refredament del conjunt, per això, aquest procés s'ha de fer amb el menor temps possible. En aquest moment també és aconsellable fer una prova de revelatge electroquímic, per assegurar el bon muntatge i correcte funcionament de tot el sistema. En la Figura 3.9 s'observa el conjunt preparat.

Quan han transcorregut les 4 hores del revelatge químic, es procedeix a començar l'electroquímic, connectant la font d'alta tensió i el sistema de lectura de la tensió, el corrent i la freqüència (oscil·loscopi i freqüencímetre). Al llarg d'aquest revelatge (1,5 hores) cal anar comprovant i reajustant, cada 10 minuts, els següents paràmetres: temperatura, tensió aplicada, freqüència i corrent que circula pel sistema.



Figura 3.9. Sistema de revelat preparat a l'interior de l'estufa. Sota aquesta es veu el freqüentímetre i l'oscil·loscopi.

Finalitzat tot el revelat es procedeix al desmuntatge del conjunt. Les plaques i les juntes del sistema de cel·les es netegen per un costat i els detectors per un altre, tots amb aigua corrent i es deixen assecar. A continuació ja es pot realitzar la lectura o recompte de la densitat de traces dels detectors.

Sistema de lectura i anàlisi dels detectors de Makrofol.

El sistema semiautomàtic de recompte de traces utilitzat pel GFR pels detectors de Makrofol està format per:

- Foto vídeo càmera Sony PHV-A7E (fabricada per Sony Corporation, Tokyo, Japó) treballant a mode de transmissió.
- Targeta digitalitzadora de gràfics-TV 24-bit Hiauppauge WinTV (fabricada per Hiauppauge Computer Works Inc., EEUU).
- PC Pentium de 3000 MHz amb 64 Mbytes de Ram i 3,2 Gbytes de disc dur, amb programa Java processador d'imatges de domini públic ImageJ (desenvolupat al National Institute of Health NIH dels EEUU i disponible de forma gratuïta a <http://rsb.info.nih.gov/ij>).

La foto vídeo càmera té un selector Iris que permet controlar la quantitat de llum que arriba al detector de Makrofol i que es transmet al sensor. Utilitzant el software de control, la foto vídeo càmera captura la imatge del detector amb una resolució espacial de 1600 x 1200 píxels, la qual cosa permet guardar la imatge en un directori del PC sota qualsevol dels formats de fitxers

digitals estàndards (tiff, jpg, gif, etc.). Aquest software també permet ajustar els valors de lluminositat, contrast i color, que juntament amb el selector Iris de la foto vídeo càmera, permeten l'optimització del reconeixement de les traces i la discriminació de les taques, rallades o altres inhomogeneïtats de la superfície del detector.

Per tal de determinar el nombre de traces de cadascuna de les traces de cadascuna de les imatges del detector cal convertir la imatge a una del tipus 8 bits per píxel, per tal de tenir 256 nivells de gris (0 pel píxel totalment negre fins a 256 pel píxel totalment blanc). El programa ImageJ permet aïllar totalment les traces, que s'analitzen i s'observen un conjunt de característiques (àrea, perímetre, etc.). Amb un programa de càlcul es determina la densitat de traces, i finalment, els Becquerel per metre cúbic (Bq/m³) de radó en aire.

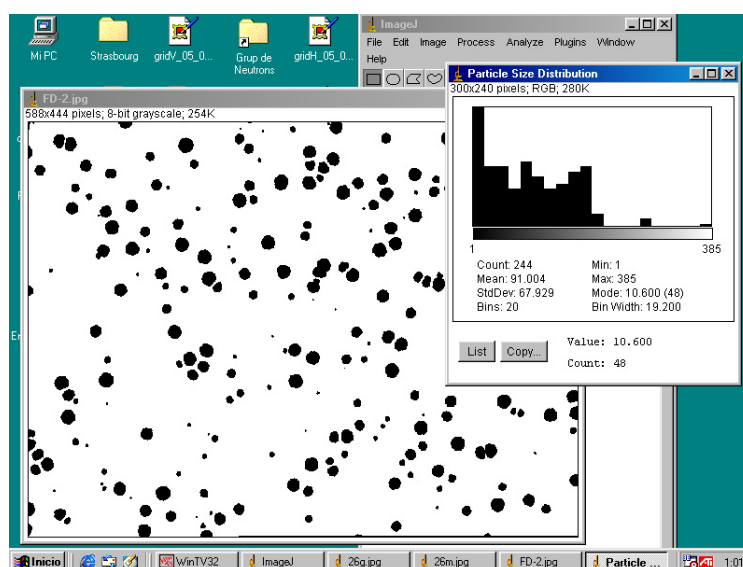


Figura 3.10: Vista del sistema semiautomàtic de recompte de traces imageJ.

Determinació de l'activitat

Per trobar la concentració de radó a partir dels dosímetres de makrofol s'ha procedit al càlcul següent (Moreno, 2006):

La magnitud física que mesura els detectors plàstics és la integral temporal de concentració real de radó, és a dir, l'exposició:

$$\chi_{Rn} = \int_0^T C_{Rn}(t) dt$$

On $C_{Rn}(t)$ és la concentració de radó a l'instant t i T és el temps d'exposició del dosímetre. Les unitats són Becquerel per metre cúbic i per hora (Bq m⁻³ h⁻¹).

L'exposició és determina a partir de la densitat de traces i del factor de calibratge ε ($\text{tr cm}^{-2} (\text{Bq m}^{-3} \text{ h}^{-1})^{-1}$), que ens diu la densitat de traces registrades pel detector per unitat d'exposició. La seva expressió és:

$$\chi_{Rn} = \varepsilon^{-1} \rho_n$$

On ρ_n és la densitat de traces neta, en cm^{-2} .

La incertesa de l'exposició s'obté propagant incerteses:

$$\delta \chi_{Rn} = \sqrt{\left(\frac{\delta \rho_{Rn}}{\varepsilon} \right)^2 + \left(\frac{\rho_n \delta \varepsilon}{\varepsilon^2} \right)^2}$$

Aleshores, coneixent el temps d'exposició t (en hores) del dosímetre es pot calcular la concentració de radó mitja a la que ha estat sotmès.

$$C_{Rn} = \frac{\chi_{Rn}}{t}$$

Finalment la incertesa de la concentració també es calcula aplicant la propagació d'incerteses:

$$\delta C_{Rn} = \sqrt{\left(\frac{\delta \chi_{Rn}}{t} \right)^2 + \left(\frac{\chi_{Rn} \delta t}{t^2} \right)^2}$$

També s'han de tenir en compte totes les quantitats que poden intervenir en la incertesa del resultat final (àrea del detector, densitat de traces de fons i factor de calibratge). Per un millor estudi del càlcul de la concentració de radó en detectors de makrofol, veure Moreno V, 2006.

3.2.2. RAD7

El DURRIDGE RAD7 (Fabricat per DurrIDGE Company, 7 Railroad Ave., suite D, Bedford, MA 01730, EEUU; Figura 3.11) és un detector actiu (és a dir, necessita l'aport d'energia per a funcionar) i continu que permet detectar només partícules α . Aquest equip és està format per un detector de semiconductor, normalment de silici, que converteix la radiació α en senyals elèctrics. En aquest detector l'aire es difon cap a l'interior a través d'un filtre que permet l'entrada del gas radó en el volum de detecció però que reté els seus descendents i partícules

en suspensió. La cambra consisteix en una esfera o un cilindre amb un detector de tipus semiconductor dissenyat per a la detecció de partícules α .

Com que és un detector continu, el RAD7 permet observar la variació del nivell de radó al llarg del temps de mesura.

El RAD7 es pot utilitzar de diferents formes per tal de mesurar en els diferents medis i segons els objectius que es pretenen assolir:

- a) Vigilància continua de radó en l'aire.
- b) Inhalació de radó i/o toró.
- c) Medició de radó en aire.
- d) Proves per mesurar el gas en el sòl.
- e) Medició de radó i toró que emana d'objectes i superfícies.

En el present treball s'ha utilitzat el RAD7 per tal de mesurar, en Bq m^{-3} , la concentració de radó i toró present en l'aire durant un cert període de temps.



Figura 3.11. Vista general del DurrIDGE RAD7.

La cel·la interior del RAD7 és un hemisferi de 0,7 L, recobert per un conductor elèctric. El circuit d'alta tensió està de 2000 a 2500 V, creant un camp elèctric en tot el volum de la cel·la. Aquest camp elèctric impulsa les partícules positives cap al detector.

El ^{222}Rn es desintegra dins la cel·la, transformant el seu nucli en ^{218}Po , que actua com un dels ions carregats positivament. El camp elèctric de dins la cel·la impulsa aquest ió positiu cap al detector, on s'enganxa. Quan el nucli del ^{218}Po ($T_{1/2} = 3,1$ min), es desintegra a la superfície activa del detector, les seves partícules tenen un 50% de probabilitat d'entrar en el detector i produir una senyal elèctrica proporcional a l'energia de la partícula α . El mateix nucli pot produir partícules β , que no són detectades pel RAD7, o partícules α de diferents energies. Els diferents isòtops tenen diferents energies α , i produeixen diferents senyals en el detector. El RAD7 amplifica, filtra i classifica les senyals en funció de la seva energia.

Les principals avantatges d'aquest tipus de detector són:

- És molt robust i durader, per tant molt útil per a les campanyes al camp.
- Té la capacitat de determinar per via electrònica l'energia de cada partícula α . Això permet predir exactament quin isòtop dels seus descendents produeix la radiació, per tant es pot distingir radó jove de més antic, radó de toró, i senyal de fons. Aquesta tècnica es coneix com espectrometria alfa, i és molt útil per realitzar un "sniffing" o presa ràpida de mostres.

En l'"sniffing", el RAD7 només utilitza senyal del ^{218}Po per determinar la concentració de radó, i la de ^{216}Po per a la del toró, sense considerar la resta de fills d'aquests. En l'"sniffing", però, s'ha de tenir en compte la taxa de recuperació després d'una exposició a elevades concentracions, ja que tota la cadena de semidesintegració del radó s'ha acumulat a l'interior de l'instrument.

Aquest detector disposa d'unes bateries que li donen una autonomia d'unes 72 hores. Quan s'utilitza per períodes més llargs de temps, però, és necessari endollar l'aparella a la xarxa elèctrica. Es pot programar el temps de mesura en un rang molt ampli, que pot anar d'uns pocs minuts fins a setmanes, amb intervals determinats de temps. A través d'un port de sèrie RS232 i mitjançant un ordinador es poden descarregar les dades obtingudes pel detector.

Un paràmetre a tenir en compte és el fons, és a dir, la lectura que fa el detector quan no existeix radó en la mostra d'aire. Per un seguiment continu de nivell baix de radiació, és necessari que el fons sigui molt baix i estable. Degut a l'alta qualitat del detector α i a l'anàlisi espectral, el fons del RAD7 disminueix i no s'acumula ^{210}Pb al seu interior.

La humitat també és un factor important en aquest detector. Així, l'aire que entra en el detector ha de tenir una humitat relativa d'un 10% aproximadament o inferior. Això s'aconsegueix

mitjançant un tub d'assecat connectat al detector, que canvia de color en funció de la saturació (Figura 3.12).



Figura 3.12. Detector RAD7 amb el tub d'assecat. A la fotografia es pot observar una franja arrosada en la part superior d'aquest tub, corresponent a la part humida.

Una descripció detallada del detector i dels diferents protocols de mesura dels quals disposa es troba en el manual RAD7 (Durridge Company Inc, 2000). Per dur a terme les diferents mesures, s'ha seguit els següents passos:

1. Enganxar el tub de secat gran a un filtre d'entrada i al monitor.
2. Endollar el detector a la xarxa elèctrica i comprovar el seu funcionament.
3. Comprovar l'estat de la memòria interna del detector i fer un buidatge de les dades emmagatzemades per tenir espai suficient per a la nova mesura.
4. Comprovar data i hora indicades pel detector.
5. Programar el detector per tal que realitzi la mesura: protocol, cicle, veu i format.

Un cop realitzada la mesura, es descarreguen les mesures a l'ordinador mitjançant el port RS232, les quals seran llegides pel programa DURRIDGE Capture v. 4.0. Aquestes dades es donaran en Bequerel per metre cúbic (Bq/m³).

El protocols utilitzats en les mesures en continu es resumeixen a la Taula 3.2.

Taula 3.2. Protocols utilitzats en les diferents mesures en continu amb el detector RAD 7.

Lloc	Codi	Protocol	Cicle
Palau de Congressos	R1	Weeks	2 hores
	R2		
	R3		
C.E.I.P. Jaime Sainz	R4	Weeks	2 hores
	R5		
Càmping Eden	R6	Weeks	2 hores
	R7		
Depuradora	R8 (1)	2 days	1 hora
	R8 (2)	None	30 min
	R8 (3)		
	R8 (4)	Weeks	2 hores
	R9	None	30 min
	R10 (1)		
	R10 (2)	Weeks	2 hores
	R11	None	30 min
	R12	Weeks	2 hores

3.2.3. LR 115

El detector utilitzat per realitzar les mesures en el sòl fou de tipus LR115 no pelable (Dosirad Co, França). Aquest és un detector passiu (és a dir, no necessita l'aport d'energia per a funcionar) que permet detectar partícules α . Consta d'unes làmines quadrades de 2,3 cm x 2,3 cm que s'introdueixen a la part superior d'un tub de PVC de 30 cm de llarg i 5 cm de diàmetre (Figura 3.13).

En el camp, aquests tubs s'injecten en cilindres de 50 cm de llarg i 7,5 cm de diàmetre aïllats i coberts de tubs de PVC, tal i com es veu en la Figura 3.13. Aquest tub protegeix el detector i impedeix l'aïllament de la pel·lícula del detector al caure la temperatura per sota de la temperatura de rosada (Font *et al.*, 2008). Per sobre del tub del detector s'introdueix un aïllant per tal d'evitar que el radó exhalat dins del tub faci un circuit de recirculació a través del tub injectat en el sòl.

Després d'haver estat exposats durant un període d'una setmana en aquest cas, les làmines són recuperades i revelades químicament. Posteriorment, es procedeix a la lectura de les mateixes.

El revelatge químic.

Les làmines de l'LR115 són submergides durant 105 min amb una dissolució de NaOH 5,5 a 60 °C . Posteriorment, es renten amb una dissolució amb un 50% d'aigua i un 50% d'alcohol, per eliminar les impureses que puguin quedar sobre la pel·lícula de la làmina.

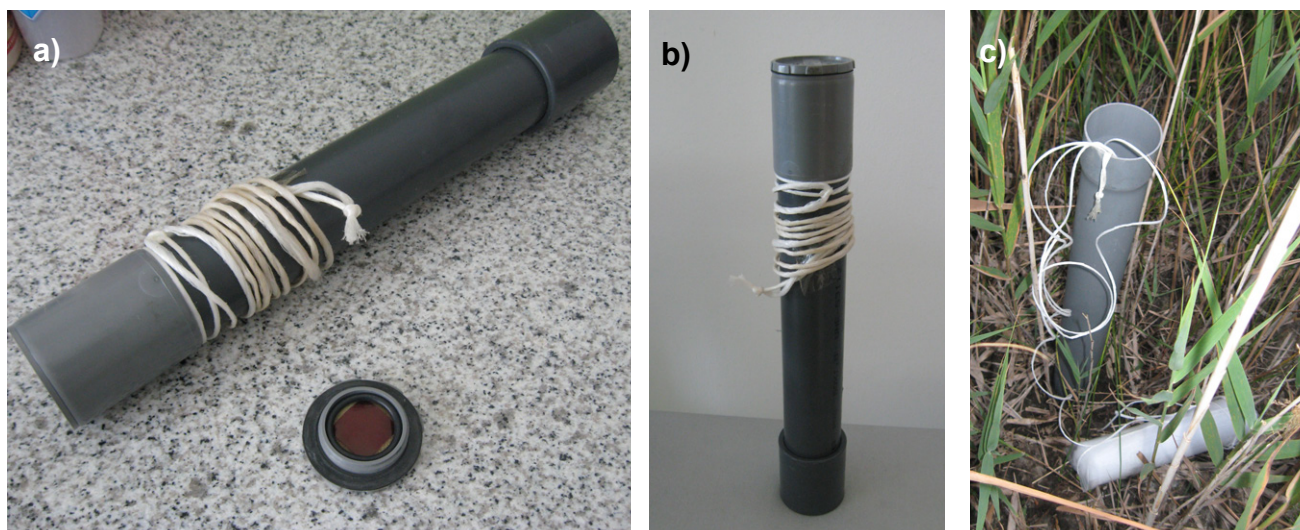


Figura 3.13. a) Vista de la làmina de l'LR 115, b) El tub de PVC que protegeix a la làmina, c) tub de PVC injectat en el sòl amb l'aïllant.

Sistema de lectura i anàlisi.

Una vegada assecades les làmines, es pot procedir a la lectura. La densitat de les pistes s'obté amb un sistema semiautomàtic que disposa el laboratori del Grup de Radioactivitat Ambiental (Figura 3.14). Aquest sistema consisteix en un microscopi acoplat a una càmera CCD i un ordinador PC Pentium de 3000 MHz amb 64 Mbytes de Ram i 3,2 Gbytes de disc dur, amb programa Java processador d'imatges de domini públic ImageJ (desenvolupat al National Institute of Health NIH dels EEUU i disponible de forma gratuïta a <http://rsb.info.nih.gov/ij>). El programa ImageJ permet aïllar totalment les marques obtingudes en el revelat, i les analitza. Amb un programa de càlcul es determina la concentració de radó en aire, en Bequerel per metre cúbic (Bq/m³).

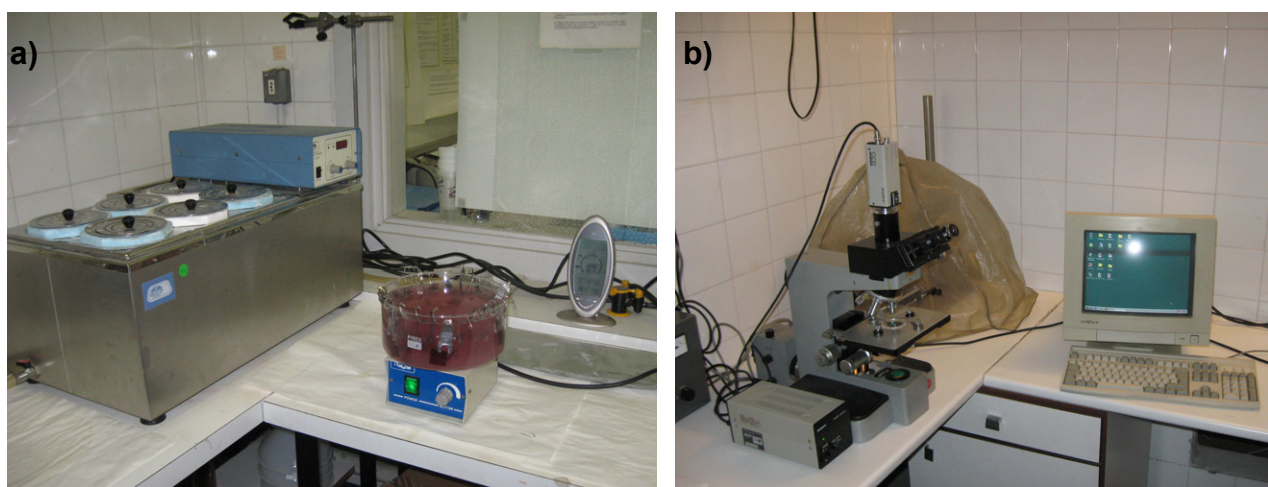


Figura 3.14. a) El revelat químic. b) Lectura i anàlisi amb el sistema semiautomàtic del GFR.

4. RESULTATS

En aquest apartat es presenten els resultats de les mesures obtingudes en aquest treball tenint en compte si són mesures exteriors o interiors d'edificis o instal·lacions.

4.1. Nivells de radó a l'exterior

Els resultats de la concentració de Rn ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) mesurats amb detectors de makrofol als punts exteriors de la Marjal de Peníscola es mostren a la Taula 4.1

Taula 4.1: Valors de la concentració de radó en els punts d'exterior estudiats.

Codi detector	Concentració ^{222}Rn ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)
P1	27 ± 7
P6	63 ± 11
P9	30 ± 7
P11	37 ± 8
P14	79 ± 12
P19	57 ± 10
P28	162 ± 19
P34a	27 ± 7
P35	39 ± 9
CP5	33 ± 8
HP	39 ± 9
PI	34 ± 8
PM	43 ± 9
PN	15 ± 5
PP	48 ± 9
Mitjana aritmètica	49 ± 35

La concentració de Rn en aire oscil·la entre el $15 \pm 5 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, mesurats en una de les casetes de al costa de la Sèquia de Rei (punt PN), i els $162 \pm 19 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, d'un detector de makrofol situat a la vora del canal on es ajunten la Sèquia de Rei i la Sèquia Templera. La mitjana aritmètica de la concentració mitjana de radó dels 15 punts exteriors és de $49 \pm 35 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ i $[15 - 162] \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Si no es té en compte el P28, que és una mesura que es troba clarament fora de la mitjana ("ourlier"), la mitjana aritmètica és $41 \pm 17 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, molt més ajustada als valors.

Aquesta mitjana i tots els punts analitzats mostren una concentració de ^{222}Rn molt superior a $10 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, considerat el valor mitjà per ^{222}Rn en aire exterior (UNSCEAR, 2000).

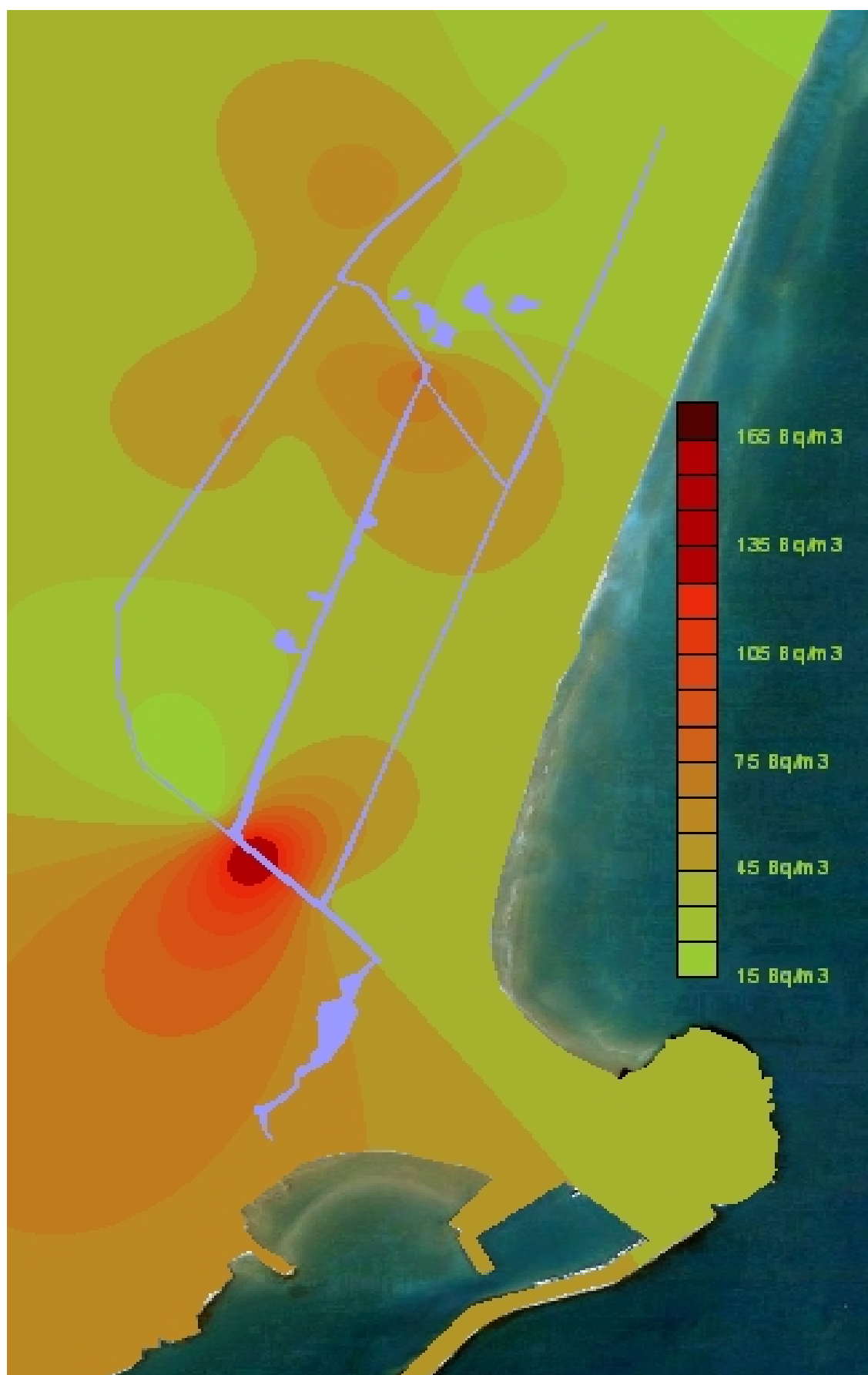


Figura 4.1. Distribució de ^{222}Rn en aire a la marjal de Peníscola a partir de les 15 mostres analitzades.

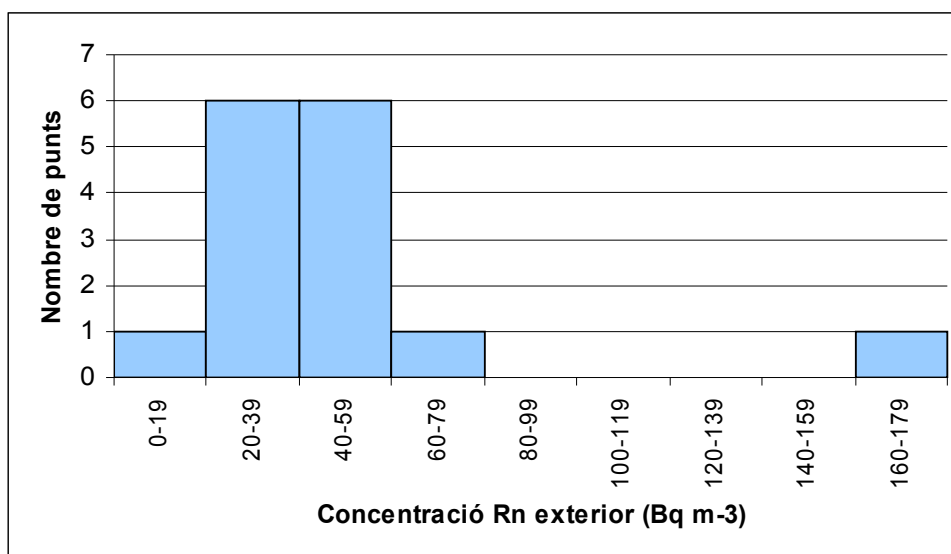


Figura 4.2: Histograma de les concentracions de radó obtingudes en els punts exteriors estudiats.

Valors de ²²²Rn de la segona recollida

Com ja s'ha dit, en cada punt de mostreig (Taula 3.1) es van instal·lar un total de dos dosímetres passius per a la mesura del ²²²Rn en aire. Un d'aquests dosímetres es va extreure i analitzar en una primera recollida al març de 2008, obtenint els valors que apareixen a la Taula 4.1. En la segona recollida (maig de 2008), però, es va considerar que es va procedir a un revelat incorrecte de les dades, ja que es van trobar menys traces que en la primera recollida. Recentment ha passat en algunes mesures d'altres estudis, podent atribuir-se a un problema tècnic amb el freqüentímetre. Per tant, aquests segons valors no s'han tingut en compte i s'han considerat només els primers.

Mesures en continu (RAD 7)

A l'exterior, a més de les mesures integrades es va mesurar amb el detector DurrIDGE RAD7 en continu. Els resultats apareixen a la Figura 4.3. Ambdós mesures presenten un augment dels valors a partir de les 19 hores, sent la mesura del punt *lb* la que presenta el màxim a 54 ± 27 Bq m⁻³, i mitjana de 22 ± 20 Bq m⁻³ (rang [0- 54] Bq m⁻³). La mesura *la* presenta el màxim a 46 ± 25 Bq m⁻³ i el mínim a 0, amb una mitjana de 17 ± 15 Bq m⁻³.

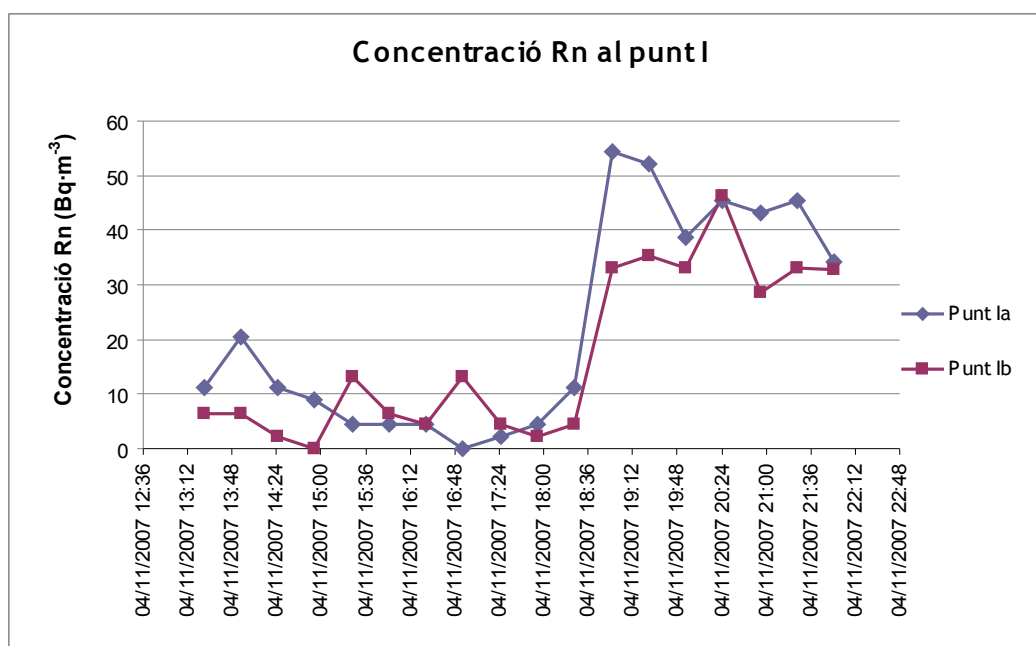


Figura 4.3: Concentració de ²²²Rn en dos extrems del Punt I.

4.2. Nivells de Rn en edificis i instal·lacions

Com ja s'ha esmentat, en el treball s'han realitzat mesures en els llocs de treball més significatius de la zona: Palau de Congressos, el Càmping Edén, l'escola Jaime Sainz i la depuradora. De forma secundària i amb menys intensitat de mesura s'han disposat dosímetres a: Seu central de FACSA a la població, La font de Dins, l'Hotel Marina i en una caseta d'eines d'un particular situada dins la part nord de la marjal (Les Argires). Els resultats de la concentració de Rn (Bq·m⁻³) mesurats amb detectors de makrofol es mostra a la Taula 4.2.

Taula 4.2: Valors de la concentració de ²²²Rn en edificis i instal·lacions.

Codi detector	Lloc	Concentració ²²² Rn (Bq m ⁻³)
PC1	Palau de Congressos	37 ± 8
PC2		61 ± 11
ES1	Escola Jaime Sainz	56 ± 11
ES2		52 ± 11
CP1	Càmping Edén	23 ± 7
CP2		45 ± 9
CP3		34 ± 8
CP4		49 ± 10
D1	Depuradora	2729 ± 400
D2		341 ± 33
P36	F.A.C.S.A.	30 ± 8
FD	Font de dins	103 ± 14
HM	Hotel Marina	37 ± 8
PM1	Mas particular	65 ± 11

La distribució d'aquests valors es mostra a la Figura 4.4. S'observa com en el cas anterior que existeixen dos dosímetres que surten de la mitjana de concentracions del grup de dosímetres: detectors situats dins la depuradora. La mitjana aritmètica de les 13 mesures en interior d'edificis o instal·lacions, sense tenir en compte la depuradora, és $49 \pm 21 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

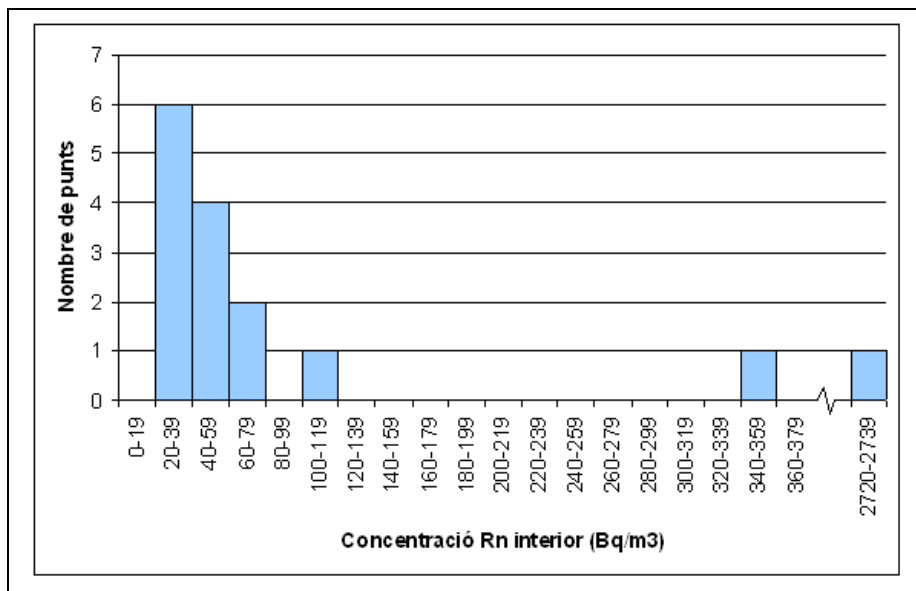


Figura 4.4: Histograma de les concentracions de radó obtingudes en els punts exteriors estudiats.

El valor de la mitjana és lleugerament més gran que la mitjana de la concentració de radó en interior d'edificis obtinguda a la Comunitat Valenciana, amb un valor de $34 \pm 3 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (Amorós *et al*, 1995), o que la obtinguda en el conjunt de l'Estat, de $41 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$ (Quindós *et al*, 1991).

Partint de la mitjana nacional, s'observa que F.A.C.S.A., l'Hotel Marina, dos dels punts del càmping Edén i un punt del Palau de Congressos es troben per sota d'aquesta mitjana, atribuint-los nivells baixos (mitjana: $32 \pm 6 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$); l'escola Jaime Sainz, el mas particular situat a "les Argires", dos punts del càmping Edén i un punt de Palau de Congressos es trobarien sensiblement per sobre d'aquest valor, considerant-se valors normals o lleugerament elevats (mitjana: $55 \pm 7 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$); i per últim es troba la depuradora de la localitat, amb valors molt elevats de radó.

4.2.1. Palau de congressos.

Detectors de makrofol

El punt PC1 es troba lleugerament per sota de la mitjana nacional, considerant-se un valor normal, i el punt PC2 està per sobre d'aquest valor, sent similar a la mitjana obtinguda pel conjunt de les mesures. La mitjana de ambdós valors és de $49 \pm 17 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$.

Mesures en continu (RAD 7)

La Figura 4.5 es presenten els nivells de radó en continu (en Bq m^{-3}) mesurats en els tres punts del pàrquing del Palau de Congressos, simultàniament, durant uns 8 dies amb un període de 2 hores per cada interval de mesura. El punt R1 situat al costat de la porta que dona accés entre l'exterior i el pàrquing les concentracions oscil·len entre 3 ± 7 i $41 \pm 11 \text{ Bq m}^{-3}$, amb una mitjana de $22 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$. El punt R2 representa un dels punts més interiors del pàrquing i per tant amb menys ventil·lació que els que es troben propers a les portes o finestres. S'observa, a diferència del punt R1, com les oscil·lacions més pronunciades es troben al voltant dels dies 23, 27 de febrer i 1 de març, amb màxims de concentració que oscil·len entre 108 i 66 Bq m^{-3} . El rang de concentracions mesurades en aquest punt és de 21 ± 8 i $108 \pm 16 \text{ Bq m}^{-3}$, amb una mitjana de $42 \pm 19 \text{ Bq m}^{-3}$. Finalment en el punt R3 s'observa una tendència semblant al cas del punt R2, amb oscil·lacions pronunciades, també, sobre els dies 23 i 27 de febrer i 1 de març. Els valors més elevats es troben entre els 127 i 98 Bq m^{-3} , amb un rang de 18 ± 8 i $127 \pm 18 \text{ Bq m}^{-3}$ i una mitjana de $47 \pm 25 \text{ Bq m}^{-3}$.

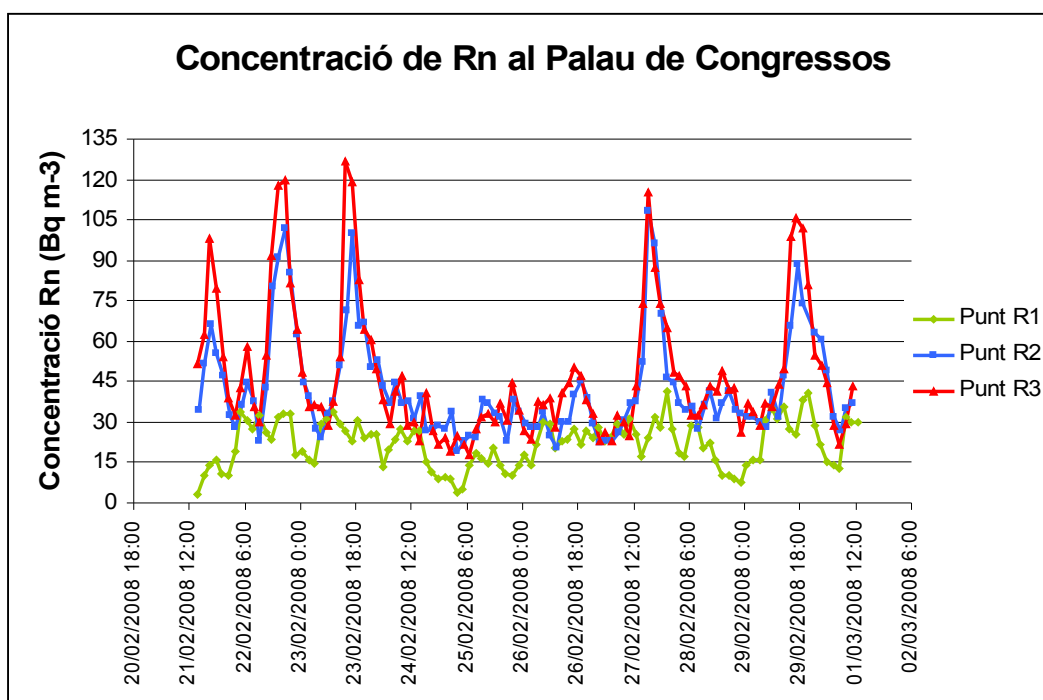


Figura 4.5. Nivells de radó en continu a l'interior del pàrquing del Palau de Congressos.

4.2.2: Ceip Jaime Sainz.

Detectors de makrofol

Els dos punts estudiats amb detectors de makrofol tenen valors similars, amb una mitjana de $54 \pm 3 \text{ Bq m}^{-3}$. Segons les mesures, el col·legi té una concentració de ^{222}Rn superior a la mitjana nacional, però inferior a la mitjana pels valors estudiats.

Mesures en continu (RAD 7)

Les mesures en continu realitzades al Col·legi Jaime Sainz es mostren a la Figura 4.6. Les mesures al despatx corresponen al punt R4, on els valors observats oscil·len entre 7 ± 5 i $48 \pm 11 \text{ Bq m}^{-3}$, amb una mitjana de $24 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$. Les mesures en continu fetes a la casa del conserge d'aquesta mateixa escola corresponen al punt R5 (Figura 4.6). El rang de concentració en aquest cas és 3 ± 4 i $44 \pm 11 \text{ Bq m}^{-3}$, amb una mitjana molt inferior al cas anterior de $14 \pm 9 \text{ Bq m}^{-3}$. Aquest punt R5 coincideix amb el punt ES3 de les mesures integrades de makrofol, un dels punts perduts.

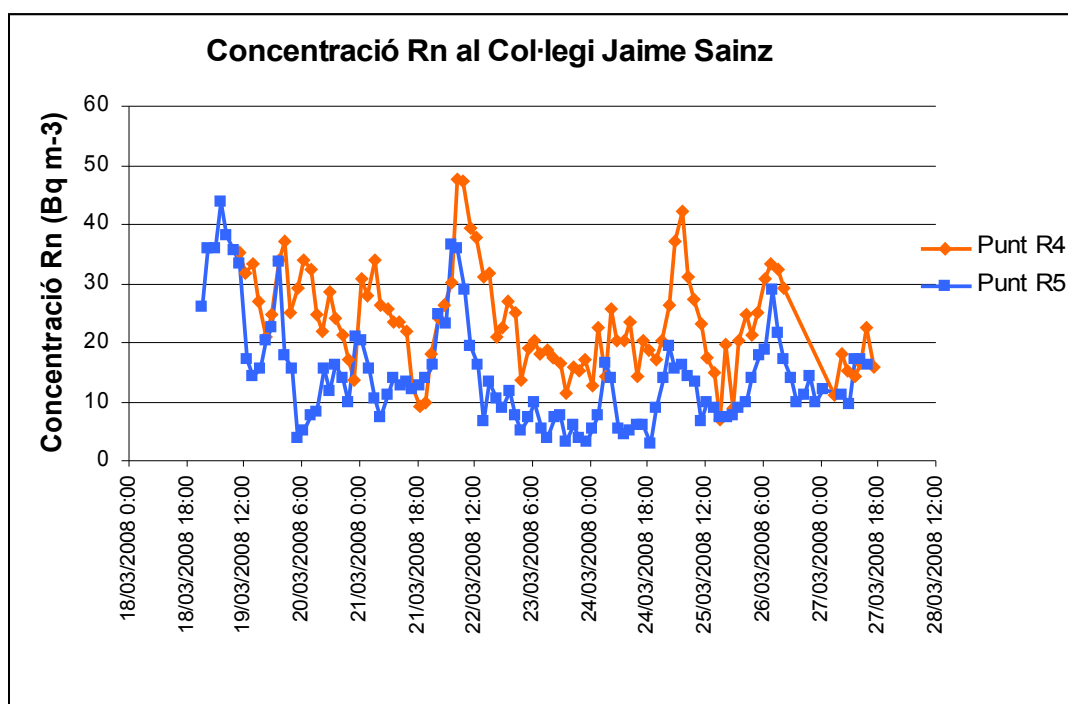


Figura 4.6: Nivells de ^{222}Rn en continu al Col·legi Jaime Sainz. El Punt R4 correspon a un despatx del col·legi, i el Punt R5 correspon a la casa del conserge.

4.2.3: Càmping Edén.

Detectors de makrofol

En aquest lloc es van col·locar un total de cinc detectors, dels quals un d'ells estava en un punt exterior. La mitjana de concentració de Rn dels punts interiors és de $38 \pm 12 \text{ Bq m}^{-3}$, semblant a la mitjana nacional. En particular, només dos punts es troben molt lleugerament per sobre

d'aquesta mitjana: al supermercat i a les habitacions del personal. Tot i això, aquests valors continuen sent inferiors a la mitjana recollida pel conjunt del mostreig.

Mesures en continu (RAD 7)

Les dues mesures en continu realitzades al càmping Edén s'observen a la Figura 4.7. (corresponents al punt R6 i al punt R7). El punt R6 correspon al taller dels treballadors del càmping, proper a la sèquia Templera, i molt ventilat degut a que no es tanca mai completament, permetent que circuli l'aire per tot el local. En aquest es va observar un rang de concentracions de 1 ± 4 a 34 ± 10 Bq m⁻³, amb una mitjana de 11 ± 8 Bq m⁻³. tots els valors podrien definir-se com a baixos. Els valors obtinguts per al punt R7 corresponent al supermercat del càmping, proper al punt CP2 dels detectors de makrofol. El rang de valors en aquest cas és de 7 ± 6 Bq m⁻³ i 42 ± 11 Bq m⁻³, amb majors oscil·lacions entre el dia i la nit els dies 22 i 23. La mitjana és de 16 ± 9 Bq m⁻³, molt baixa per un lloc tancat. Cal assenyalar que el valor mitjà de la humitat relativa en aquesta mesura va ser de 49,55 %, i que per tant aquests valors no es poden tenir en compte ja el detector RAD 7 exigeix valors inferiors a 10 %.

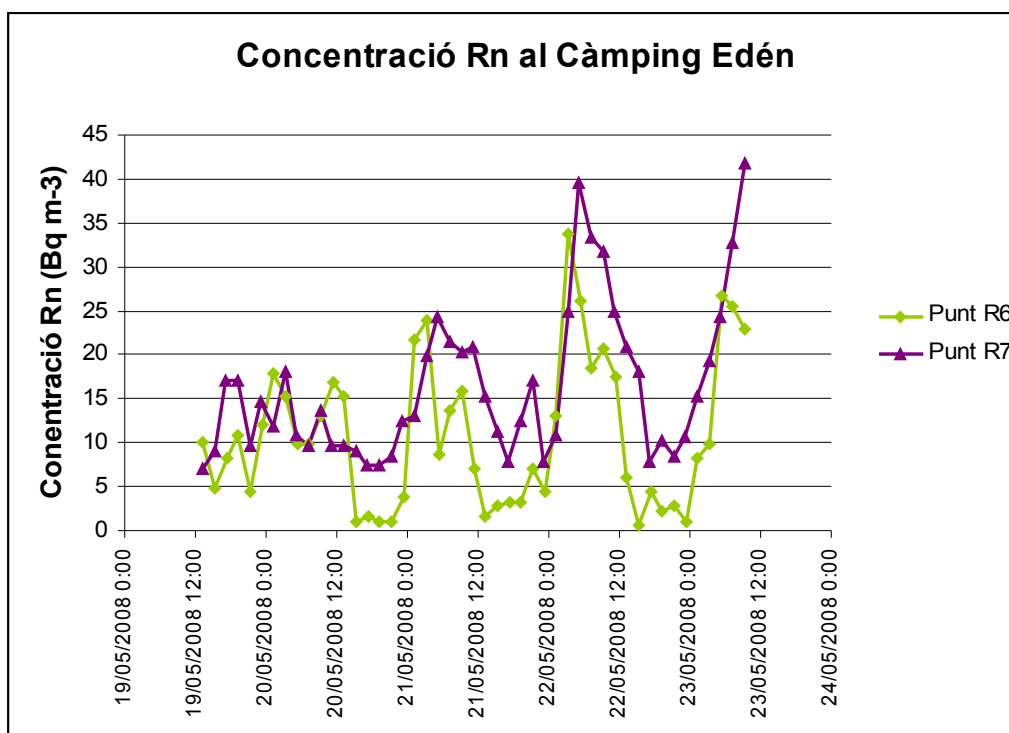


Figura 4.7. Nivells de ²²²Rn en continu al Càmping Edén. El punt R6 correspon al taller de treball, i el punt R7 al supermercat del Càmping.

4.2.4: Depuradora.

Detectors de makrofol

En el conjunt de la depuradora es va instal·lar un total de dos detectors de makrofol: un dins la sala interior (D1) i l'altre a la sala anterior on es troba l'oficina de l'operador. Els valors obtinguts són molt elevats, especialment en el punt D1 (2729 ± 400 Bq·m⁻³), arribant a sobrepassar més

de sis vegades els valors màxims de radó recomanats per llocs de treball ($400 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$). En canvi el punt D2 ($341 \pm 33 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) es troba lleugerament just per sota d'aquest valor de recomanació.

Mesures en continu (RAD 7)

Degut a l'alta concentració de ^{222}Rn en aquesta zona, es van fer diverses mesures en continu dins la depuradora i en punts propers a la mateixa:

- Mesures curtes, d'unes poques hores, per aproximar la concentració de ^{222}Rn a la zona.
- Mesures llargues, de dies o setmanes, per observar les possibles variacions.

Mesures en continu curtes (RAD 7)

Al punt R8, corresponent a l'interior de la depuradora i contigu al detector de makrofol anomenat D1, es van realitzar dues mesures curtes en continu, representades a la Figura 4.6 i a la Figura 4.7.

La Figura 4.6 mostra els nivells de ^{222}Rn en continu el dia 23 de maig de 2008. El rang de valors és 45989 ± 4700 i $70872 \pm 5800 \text{ Bq m}^{-3}$, amb una mitjana de $63719 \pm 11928 \text{ Bq m}^{-3}$. Aquest valor sobrepassa més de 150 vegades la concentració màxima de radó recomanada per a llocs de treball.

A l'interior de la depuradora també es va mesurar el 6 de juny del 2008, com es mostra a la Figura 4.7. El rang en aquest cas oscil·la entre 567 ± 75 i 872 ± 92 amb una mitjana de $761 \pm 97 \text{ Bq m}^{-3}$. Aquest cas també es sobrepassa el valor recomanat, tot i no excedir-se tant com el cas anterior.

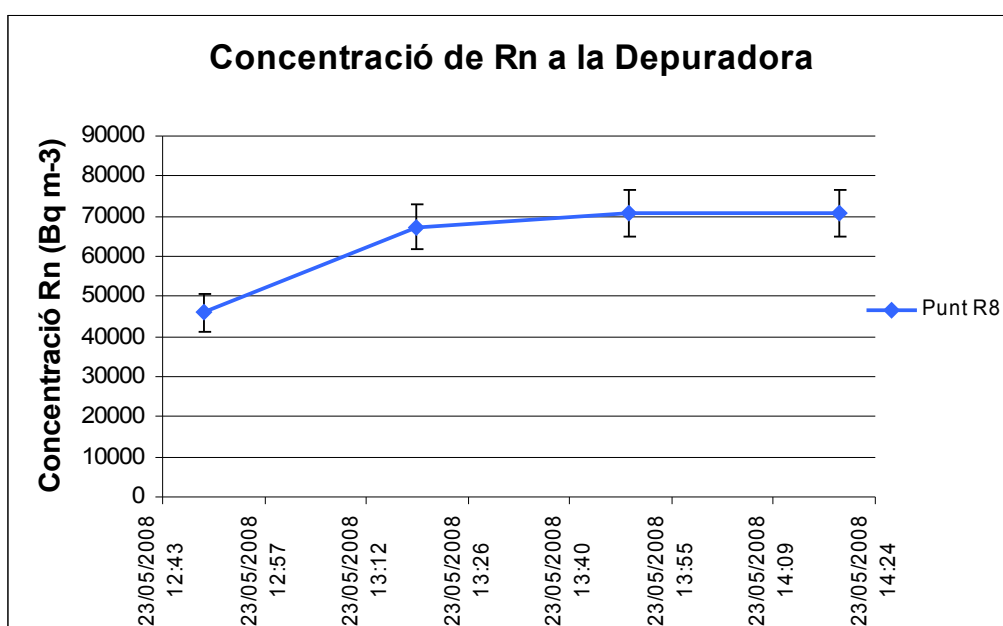


Figura 4.6 Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R8 el 23 de maig de 2008, a la depuradora de Peníscola.

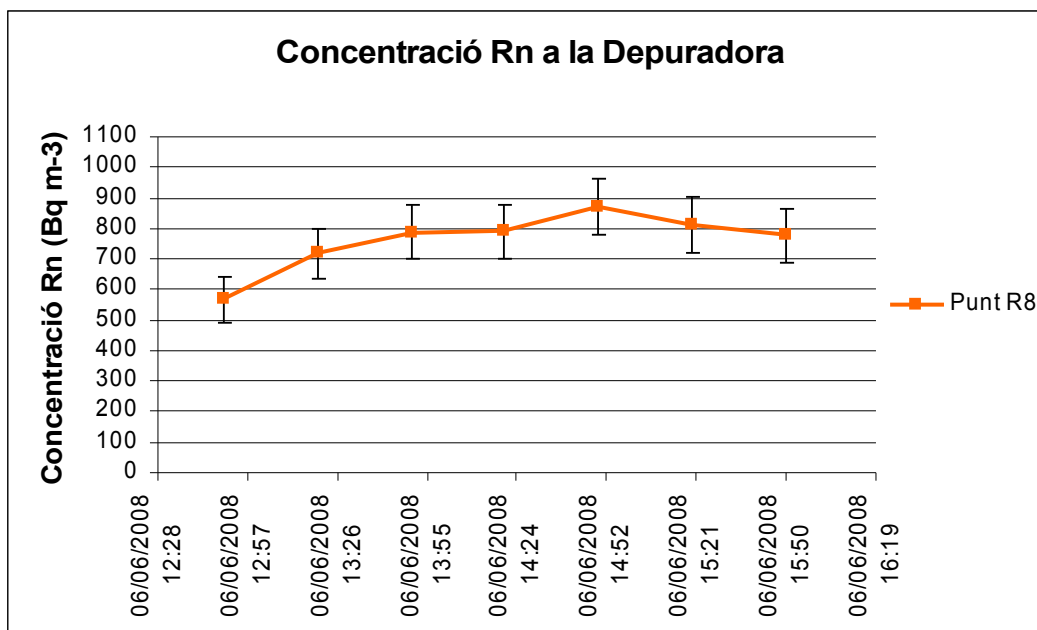


Figura 4.7: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R8 el 6 de juny de 2008, depuradora de Peníscola.

A la depuradora, també, es van realitzar mesures simultànies al magatzem contigu a la mateixa, anomenat punt R9 i molt proper al punt D2 del detector de makrofol. Aquests valors apareixen a la Figura 4.8, on trobem un rang de 5 ± 22 i 230 ± 75 Bq m⁻³ i una mitjana de 48 ± 81 Bq m⁻³, superior a la mitjana espanyola per a recintes tancats. Si eliminem la primera mesura molt més elevada, la mitjana cau fins 17 ± 11 Bq m⁻³. La diferència la trobem en que, durant la primera mesura, el magatzem estava comunicat a través d'una porta oberta amb l'interior de la depuradora, i a partir d'aquesta mesura la porta es va tancar, quedant els dos recintes separats.

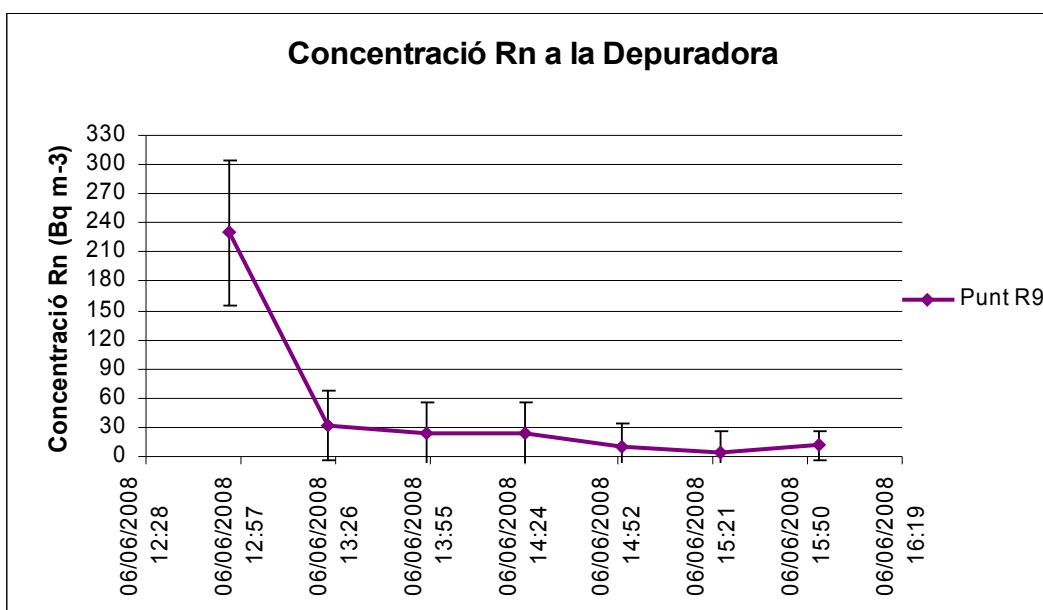


Figura 4.8: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R9 al magatzem contigu a la depuradora de Peníscola.

Per tal de saber si el radó exhalat s'introduïa dins l'edifici on està situat la depuradora, on estava situat l'antic ajuntament de la localitat, es van fer mesures en el pis superior de la mateixa. A la Figura 4.9 apareixen els valors del pis que queda per sobre (Punt R10) i a la Figura 4.10 els valors de dos pisos per sobre (Punt R11). En ambdós figures apareixen errors molt elevats, degut al reduït nombre de dades que es van prendre en cada mesura.

El rang de radó mesurat al punt R10 (Figura 4.9) és de 23 ± 39 i 41 ± 38 Bq m^{-3} , amb una mitjana de 34 ± 7 de Bq m^{-3} , similar a la mitjana espanyola i inferior a la mitjana per als edificis mesurada a Peníscola. Al punt 11 (Figura 4.10) aquests valors encara són més baixos, amb una mitjana de 6 ± 2 Bq m^{-3} i un rang de $0,0 \pm 8,9$ i 10 ± 15 Bq m^{-3} .

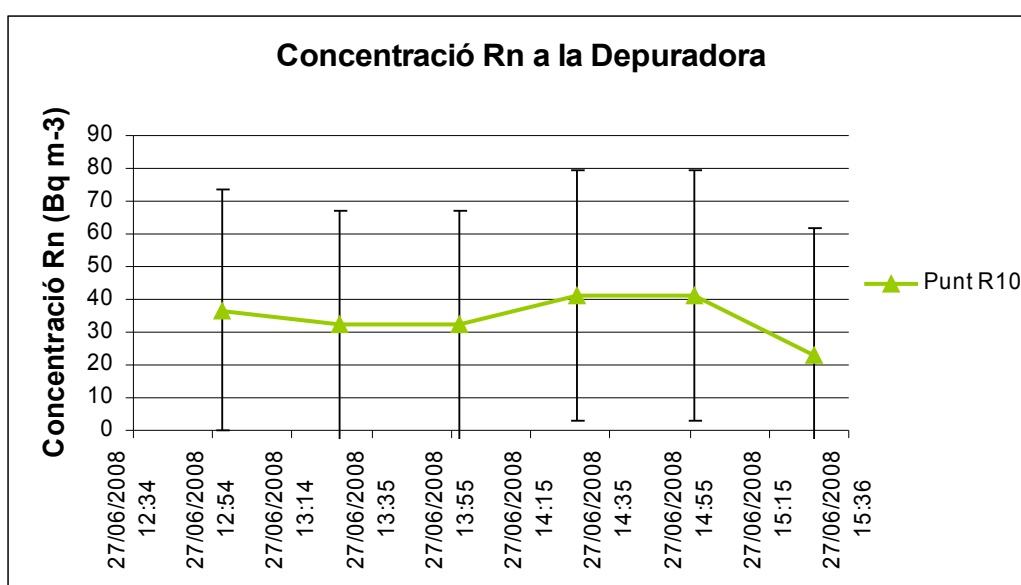


Figura 4.9: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R10, planta superior de la depuradora.

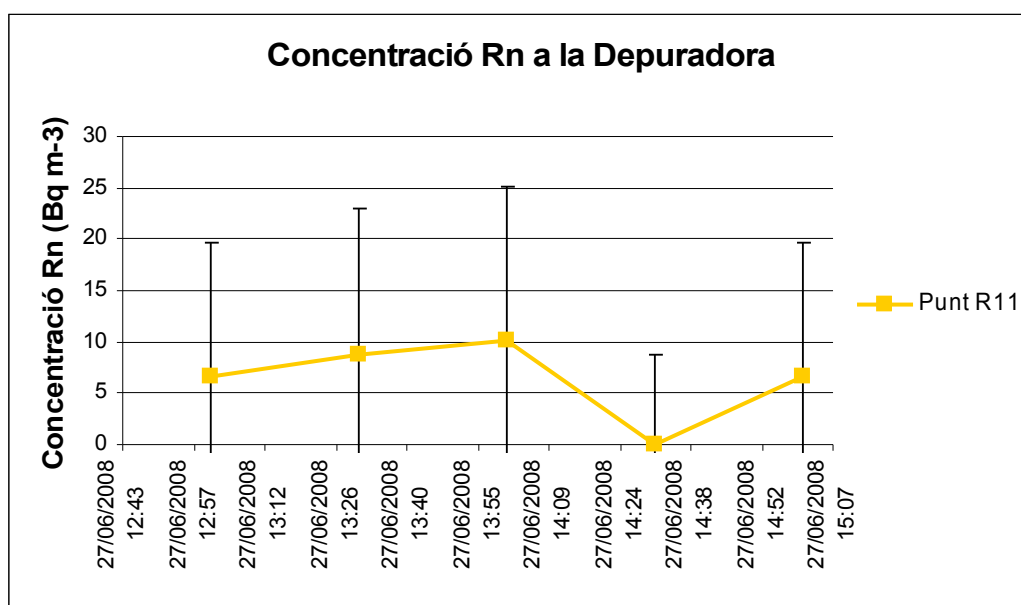


Figura 4.10: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R11, dues plantes per sobre de la depuradora.

Mesures en continu llargues (RAD 7)

Al punt R8 es van realitzar mesures llargues a més de les curtes, per tal de identificar possibles alteracions en el nivell de radó dins la depuradora. Aquestes mesures apareixen a la Figura 4.11 i a la Figura 4.12.

La Figura 4.11 mostra les mesures en continu durant tres dies, amb una mitjana de 2845 ± 243 Bq m^{-3} i un rang que oscil·la entre 2190 ± 150 i 3360 ± 130 Bq m^{-3} . Aquest valor sobrepassa més de cinc vegades els nivells màxims de radó per llocs de treball recomanats.

La segona mesura en continu durant un període llarg de temps al punt R8 apareix a la Figura 4.12. En aquesta es veu la variació de ^{222}Rn en aire durant cinc dies. La mitjana de les mesures és de 812 ± 11 Bq m^{-3} , amb un rang de 187 ± 22 i 1360 ± 56 Bq m^{-3} . És la mesura en que s'observen més oscil·lacions entre punts, arribant al màxim el dia 25 de juliol. Tot i que trobem punts que no, la mitjana sobrepassa el límit de concentració en aire recomanat per llocs de treball.

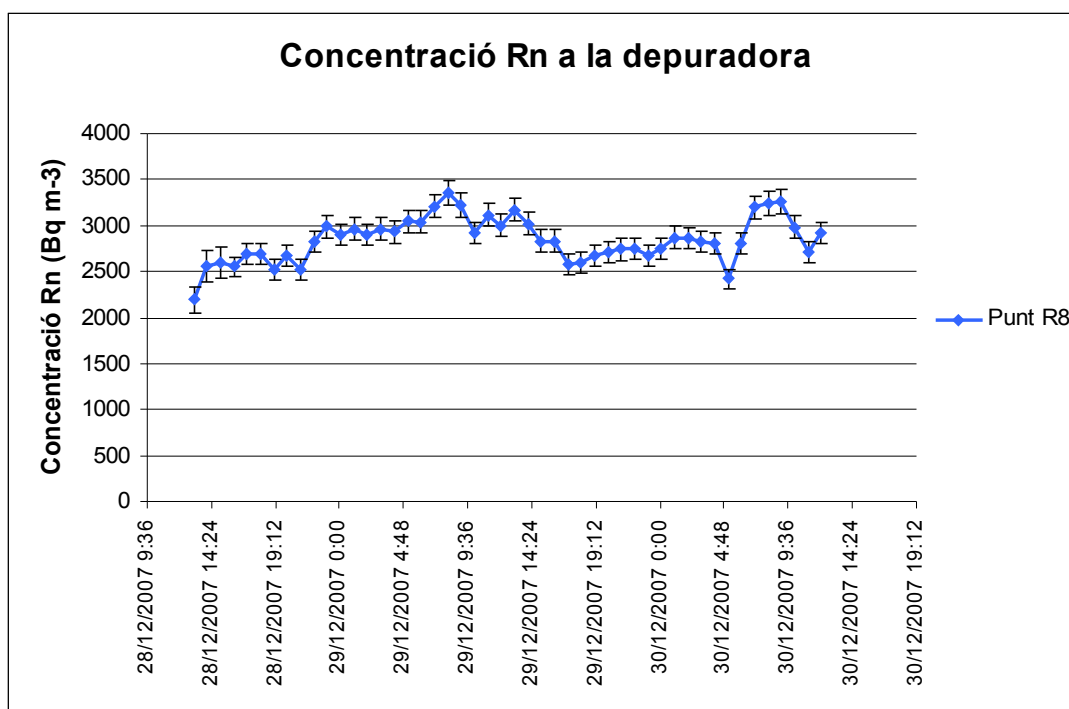


Figura 4.11: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R8 del 28 a 30 de desembre de 2007, a la depuradora.

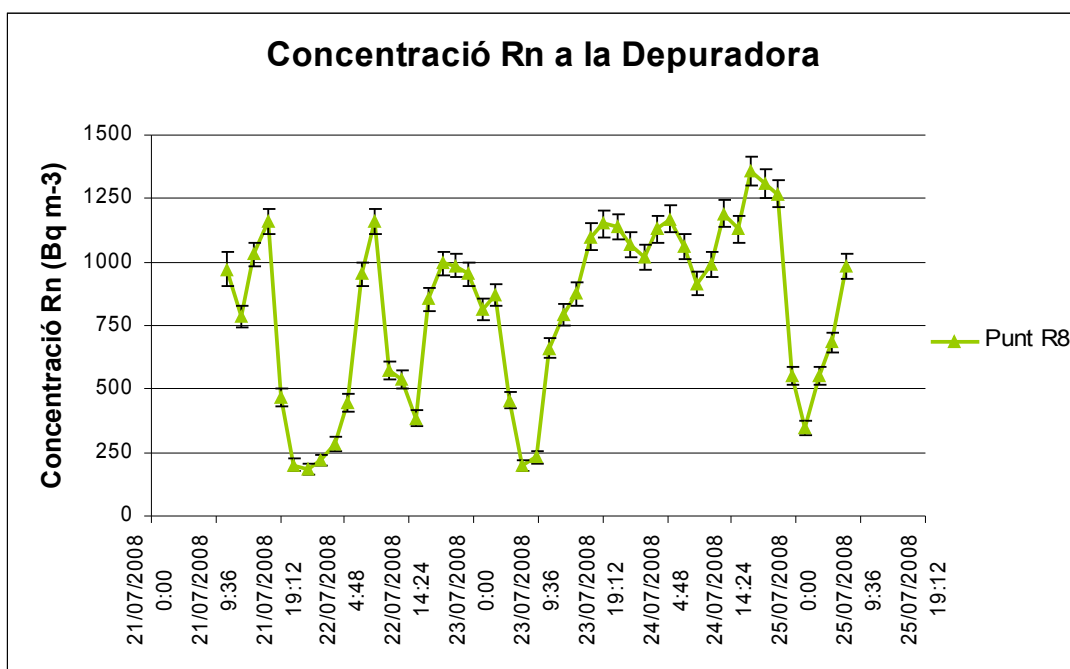


Figura 4.12: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R8 del 21 al 25 de juliol de 2008 a la depuradora.

Simultàniament amb la darrera mesura al punt R8, també es van realitzar mesures llargues en continu al punt R10 (pis superior de la depuradora) i al punt R12, corresponent a l'antiga policia de la localitat i situada al costat de la depuradora. Aquestes mesures apareixen a la Figura 4.13 i a la Figura 4.14, respectivament.

La mitjana de la concentració de radó en aire observada en la mesura sobre el punt R10 (Figura 4.13) és de $35 \pm 7 \text{ Bq m}^{-3}$, amb un rang de 22 ± 8 i $52 \pm 12 \text{ Bq m}^{-3}$. Aquesta mitjana és similar a l'obtinguda en la mesura en continu feta en aquest mateix punt, tot i que el rang en aquest cas és més gran. Els valors s'assemblen a la mitjana espanyola de concentració de radó en edificis, i són inferiors a la mitjana obtinguda per Peníscola.

Les mesures realitzades sobre l'antic local de la policia municipal (Punt R12) apareixen a la Figura 4.14. La mitjana de les dades obtingudes en aquest punt és de $363 \pm 144 \text{ Bq m}^{-3}$ i el rang oscil·la entre 156 ± 20 i $528 \pm 36 \text{ Bq m}^{-3}$. Les màximes concentracions mesurades durant els dies 24 i 25 sobrepassen el límit recomanat per llocs de treball.

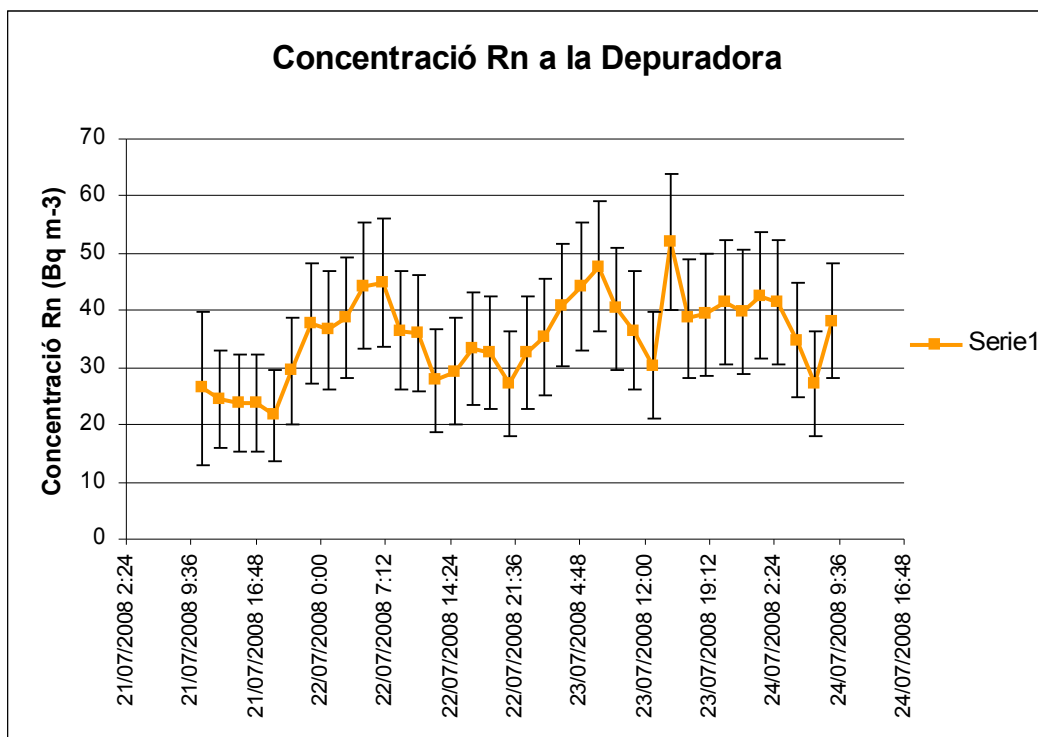


Figura 4.13: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R10 del 21 al 24 de juliol de 2008.

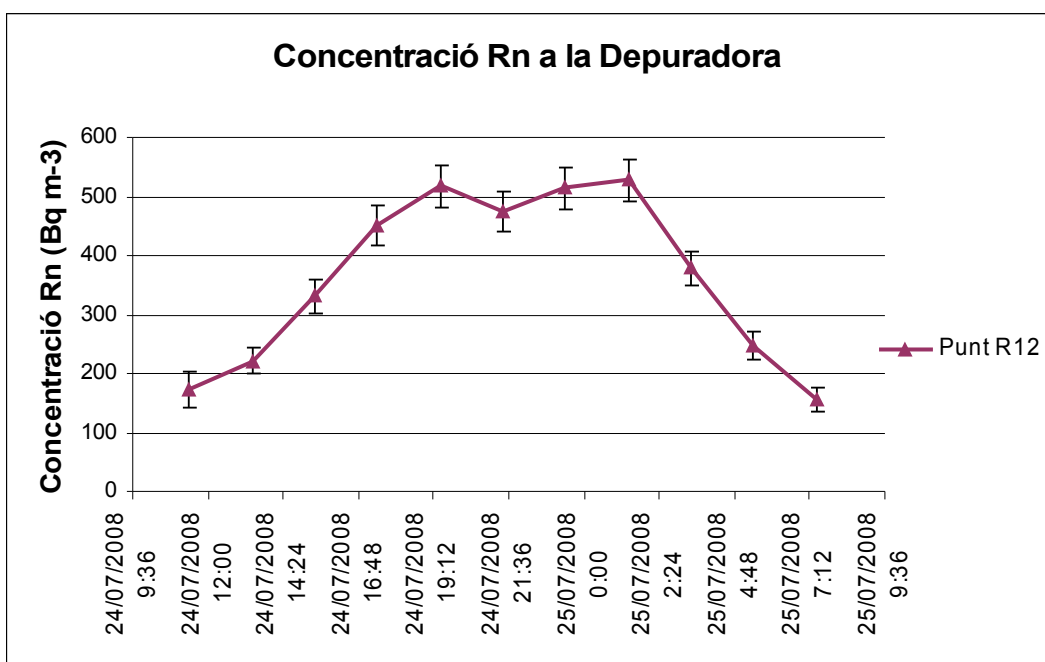


Figura 4.14: Nivells de ^{222}Rn en continu al punt R12 del 24 al 25 de juliol de 2008.

4.2.5: Altres punts.

Detectors de makrofol

A més dels estudis particulars ja comentats, també es van estudiar de forma secundària altres llocs de treball d'interès, com són F.A.C.S.A, la Font de Dins, l'Hotel Marina i una casa d'eines de camp a l'interior de la marjal.

Dels punts, destaca la Font de dins, amb $103 \pm 14 \text{ Bq m}^{-3}$, molt superior a la mitjana per Peníscola i per al conjunt de l'estat espanyol. Els punts amb menys interès des del punt de vista de protecció radiològica són l'Hotel Marina i F.A.C.S.A., amb una concentració de 30 ± 8 i $37 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$, respectivament. La mesura realitzada a la casa d'eines de la marjal (PM1) s'assembla a la mitjana extreta per al conjunt dels makrofol, més elevada que la mitjana de l'estat.

4.3. Nivell de radó en sòls.

Com ja s'ha comentat, com a mesura complementària es va mesurar l'exhalació de ^{222}Rn procedent del sòl de la marjal, a partir dels resultats de l'estudi previ "Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: la marjal de Peníscola" (Rodellas, 2008).

Els emplaçaments triats tenen relació amb els resultats de l'estudi ja esmentat, de manera que els punts A i B es localitzen en una zona amb elevada activitat de ^{226}Ra ($528,6 \pm 3,6 \text{ Bq kg}^{-3}$), i el punt C en una zona amb poca activitat d'aquest radionúclid ($75,23 \pm 0,73 \text{ Bq km}^{-3}$). Els resultats obtinguts apareixen a la Taula 4.7.

Taula 4.3: Nivells de la concentració de ^{222}Rn en els diferents emplaçaments del sòl.

Codi	Concentració ^{222}Rn (kBq m^{-3})
A	$11,1 \pm 2,6$
B	$7,2 \pm 1,8$
C	8 ± 2

El sòl A presenta una major activitat que la resta de punts, fet que es correspon amb els nivells elevats de ^{226}Ra trobats en el sòl. El B, en canvi, presenta un nivell inferior a l'esperat.

5. DISCUSSIÓ

5.1. . Nivells de radó a l'exterior

En la quantificació de l'aire en la marjal s'observen valors relativament elevats (Taula 4.1), amb una mitjana de $49 \pm 35 \text{ Bq m}^{-3}$ i un rang de $[15 - 162] \text{ Bq m}^{-3}$ per a les 15 mesures, i de $41 \pm 17 \text{ Bq m}^{-3}$, sense tenir en compte el punt P28. Tots els punts estudiats presenten valors superiors a la concentració mitjana mundial de radó en aire exterior, que són uns 10 Bq m^{-3} (UNSCEAR, 2000). Els resultats observats, també, tenen un valor més elevat que en altres estudis de radó en exteriors realitzats al món, com és el cas de Rio de Janeiro (Brazil), amb $12 \pm 9 \text{ Bq m}^{-3}$ (Magalhaes et al., 2002) o el cas de Hong Kong, amb 28 Bq m^{-3} (Man et al., 1997). Els valors, fins i tot són més elevats que els atribuïts en roques granítiques (de l'ordre de 40 Bq m^{-3} i considerades roques en valors elevats; Man et al., 1997). Es considera, per tant, que els valors obtinguts són nivells alts de radó.

El principal origen de la presència de ^{222}Rn en aire es deu a les característiques geològiques de la Marjal de Peníscola. El sistema litoral Vinaròs-Peníscola i de l'aqüífer juràssic del Maestrat descarreguen part de les seves aigües subterrànies a la Marjal de Peníscola, principalment, a través dels seus ullals (Ballesteros, 2003; Mejías et al., 2007). Els sediments que envolten part d'alguns d'aquest ullals presenten un alt contingut en radionúclids naturals de la cadena de desintegració de l' ^{238}U transportats per les argiles del propi aquífer. El principal radionúclid és el ^{226}Ra que presenta activitats màximes de 800 Bq kg^{-1} (Figura 5.1; Rodellas, 2008). La progressiva salinització de la marjal degut a processos naturals i artificials (entre 0.76 i 13.73 ppt; Figura 5.2) permeten que el ^{226}Ra , degut a les seves característiques físico-químiques (Moore et al., 1995; Webster et al., 1995; Krest et al., 1999), es desadsorbeixi dels sediments i es difongui a l'aigua amb concentracions que oscil·len entre els $2,14 \pm 0,18$ i $3097,3 \pm 9,3 \text{ Bq m}^{-3}$ (Rodellas, 2008). El ^{222}Rn , fill del ^{226}Ra , es difon ràpidament pels sediments incorporant-se, degut a la seva alta solubilitat, a l'aigua de la marjal, observant-se concentracions màximes de ^{222}Rn observades en aigua al voltant de 600 kBq m^{-3} . Així doncs, la distribució de ^{222}Rn en aire ve determinada per la distribució de ^{226}Ra en els sediments i de ^{222}Rn en aigua.

Com es mostra en la Figura 4.1, les concentracions de ^{222}Rn en aire tenen màxims al voltant dels punts P6, P19 i PP. Si es comparen amb els valors del sòl, s'aprecia certa relació; les zones amb un valor enregistrat de ^{226}Ra superior (de més de 100 Bq kg^{-1} ; Rodellas, 2008) li corresponen valors de ^{222}Rn en aire elevats. Així doncs, el ^{222}Rn provinent de les altes concentracions de ^{226}Ra en sòls exhala a l'atmosfera registrant-se concentracions més elevades del que és habitual.

D'altra banda, els valors més elevats de ^{222}Rn es registren en emplaçaments propers a canals (punt 14 i punt 28), o en salts d'aigua (punt 14). Aquest suggereix que l'elevada concentració de ^{222}Rn no prové únicament de l'exhalació del sòl, sinó que també prové de l'aigua de la marjal. Si es fa una comparativa dels valors obtinguts per al ^{222}Rn en aire i es contrasten amb el ^{226}Ra i ^{222}Rn observats en aigua es pot observar certa relació, tal i com es veu a la Taula 5.1.

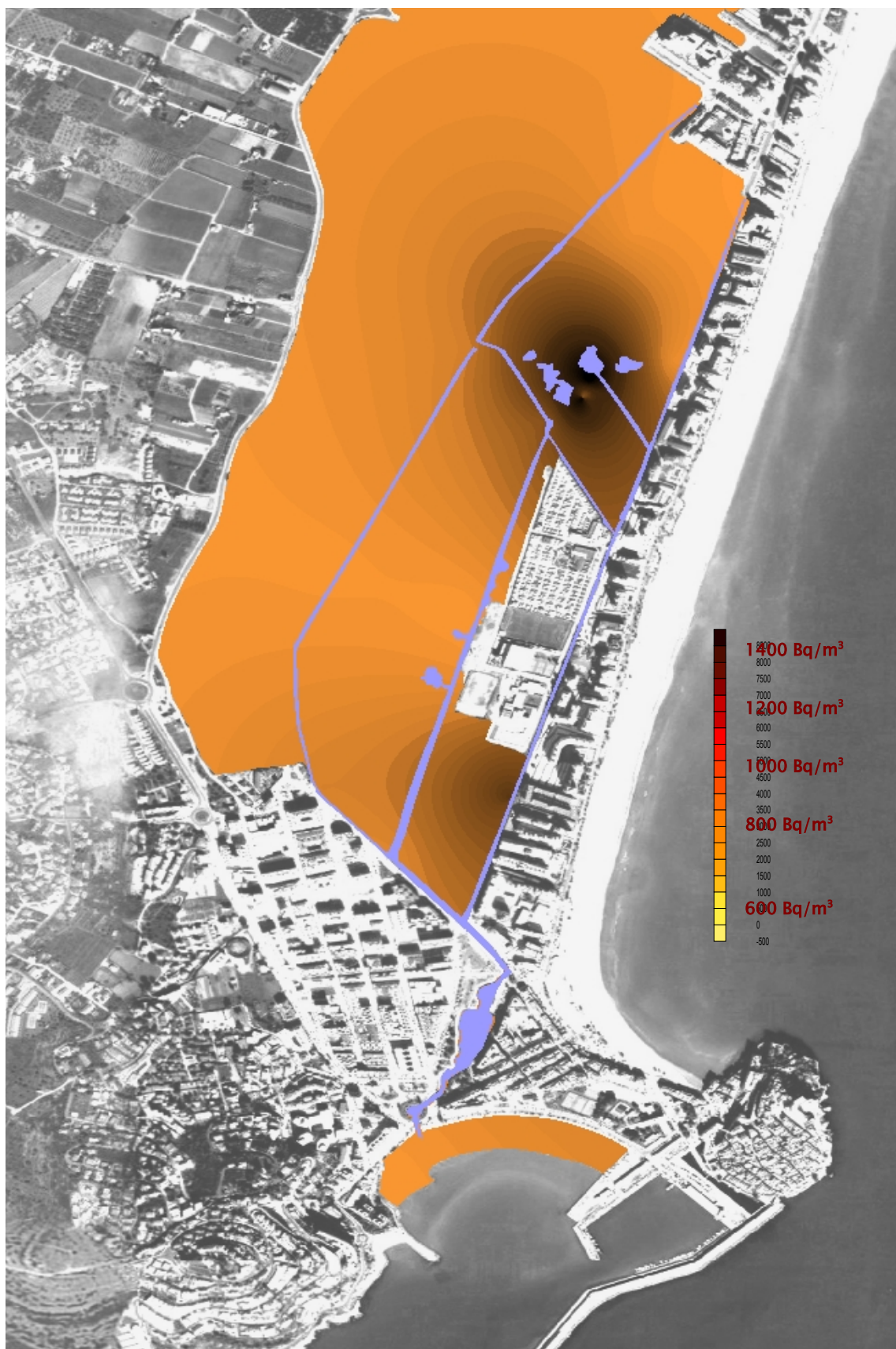


Figura 5.1. Distribució de l'activitat del ^{226}Ra als sòls de la Marjal de Peníscola a partir de 23 mostres analitzades (Rodellas, 2008).



Figura 5.2. Distribució de la salinitat superficial al llarg dels Canals de la Marjal de Peníscola a partir dels punts mstrejats (Rodellas, 2008).

Taula 5.1: Relació entre ^{222}Rn en aire i ^{226}Ra i ^{222}Rn en aigua a la Marjal de Peníscola.

Nivells de ^{222}Rn en aire		Nivells a l'aigua		
Codi detector	^{222}Rn ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)	Codi mostreig	^{226}Ra ($\text{Bq}\cdot\text{m}^{-3}$)	^{222}Rn ($\text{kBq}\cdot\text{m}^{-3}$)
P1	27 ± 7	-	-	-
P6	63 ± 11	ST12	-	-
P9	30 ± 7	ST19	$249,1 \pm 2,0$	$105,7 \pm 1,7$
P11	37 ± 8	ST16	-	-
P14	79 ± 12	ST24	$1178,8 \pm 3,6$	$525,7 \pm 4,5$
P19	57 ± 10	ST31	$68,3 \pm 2,0$	$162,8 \pm 4,4$
P28	162 ± 19	ST42	$431,8 \pm 2,0$	$299,2 \pm 8,8$
P34a	27 ± 7	-	-	-
P35	39 ± 9	-	-	-
HP	39 ± 9	-	-	-
PI	34 ± 8	ST22	$827,5 \pm 9,4$	$7,1 \pm 0,31$
PM	43 ± 9	ST11	-	-
PN	15 ± 5	ST41	-	-
PP	48 ± 9	ST40	-	-

Pel que fa a les mesures en continu, és interessant observar l'augment de concentració que experimenta el ^{222}Rn a partir del vespre, quan es pon el Sol, com es veu a la Figura 4.3. Una caiguda de pressió atmosfèrica provoca la sortida suplementària de radó del sòl, degut a un procés convectiu motivat per la diferència de pressions en la interfase sòl-aire (Quindós, 2002), que provocarà una major exhalació quan més diferència de pressions es doni. D'altra banda, donat que la major part del radó a l'aire prové de l'exhalació del sòl, els canvis en les condicions meteorològiques com la temperatura o la pressió, necessiten temps per generar canvis en l'emanació del sòl i, conseqüentment, en la concentració de radó a l'aire (Magalhaes, 2002). Així es pot veure (especialment en el punt la) com la concentració de radó va disminuint al llarg del dia i augmenta, sobtadament, quan cau la temperatura i pressió durant la nit.

5.2. Nivells de Rn en edificis i instal·lacions

Els nivells de ^{222}Rn a l'interior dels edificis i instal·lacions estudiades segons els dosímetres passius es mostren a la Taula 4.2 i la seva distribució de valors en la Figura 4.4. Com ja s'ha esmentat, el valor de la mitjana ($49 \pm 21 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, sense tenir en compte els resultats de la depuradora d'aigua) és lleugerament més elevat que la mitjana de la concentració de radó en interior d'edificis obtinguda a la Comunitat Valenciana, amb un valor de $34 \pm 3 \text{ Bq m}^{-3}$ (Amorós *et al*, 1995), o que la obtinguda en el conjunt de l'Estat, de 41 Bq m^{-3} (Quindós *et al*, 1991), tot i que no presenta valors que representin un problema des del punt de vista de protecció radiològica.

D'altra banda, el valor de la mitjana obtinguda pels edificis i instal·lacions no presenta grans diferències respecte la mitjana obtinguda en aire exterior ($41 \pm 17 \text{ Bq} \cdot \text{m}^3$). Aquest fet suggereix que el ^{222}Rn no s'acumula a l'interior dels edificis i es bescanvia amb el de l'exterior.

5.2.1. Palau de congressos.

En aquest indret es van realitzar dos motrejos amb el detector integrat i tres mostrejos en continu. El punt R2 (mesura en continu) coincideix amb el punt PC1 (mesura integrada) i el punt R3 (mesura en continu) amb el PC2 (detector integrat). Aquest fet permet comparar els resultats obtinguts per ambdós mesures que pateixen unes oscil·lacions pronunciades, simultàniament, sobre els dies 23 i 27 de febrer i 1 de març.. La mitjana obtinguda pels detectors integrats ($49 \pm 17 \text{ Bq m}^{-3}$) és igual a l'obtinguda pels detectors en continu ($45 \pm 4 \text{ Bq m}^{-3}$). Aquest valor es troba lleugerament per sobre de la mitjana de l'Estat i molt similar a la del conjunt de la marjal.

En detall, es pot veure una major tendència a acumular-se radó en el punt R3/PC2 que a la resta del pàrking, tot i estar a la mateixa alçada tots. Aquest fet es pot ser degut a la ventilació de l'edifici; el punt R3/PC2 es troba situat molt més profund que els altres dos i té menys circulació de persones o vehicles. El punt R1, amb valors molt més baixos que la resta durant la mesura en continu (mitjana de $22 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$) suggereix la seva justificació per la situació del mateix. Aquest punt es va ubicar molt proper a una de les portes de sortida del pàrking, i, conseqüentment, a un dels indrets més ventilats, ja que l'aire en aquesta zona està en continu moviment.

5.2.2: Ceip Jaime Sainz.

La concentració de ^{222}Rn en aquest lloc segons el detector integrat i segons el discret (mitjanes de $54 \pm 3 \text{ Bq m}^{-3}$ i $19 \pm 7 \text{ Bq m}^{-3}$, respectivament) no coincideixen. L'emanació del radó depèn, a més de la permeabilitat, porositat i característiques del medi, d'altres factors atmosfèrics com la precipitació o la pressió. Unes condicions atmosfèriques adverses per a l'exhalació del radó durant els dies de mesura en continu explicarien aquesta variabilitat. Així, per conèixer concentracions mitjanes, té més fiabilitat el mètode integrat, de manera que s'acceptaran els resultats del dosímetre makrofol ($54 \pm 3 \text{ Bq m}^{-3}$)

5.2.3: Càmping Edén.

Com ja s'ha esmentat, els valors obtinguts en aquest indret tenen una mitjana similar a la nacional, i només dos punts interiors mostrejats es troben lleugerament per sobre d'aquesta (CP2 i CP4). Si es comparen els resultats interiors amb el detector situat a l'exterior, no s'aprecia variabilitat ($38 \pm 12 \text{ Bq m}^{-3}$ obtinguts a l'interior respecte els $33 \pm 8 \text{ Bq m}^{-3}$ obtinguts en

el punt exterior). Aquest fet demostra que no existeix acumulació de radó a l'interior dels edificis del càmping, tot i que la concentració en exterior, sigui més elevada d'allò habitual.

Els resultats obtinguts amb els detectors integrats no es correspon amb les mesures contínues fetes durant el mes de maig de 2008 (38 ± 12 Bq m⁻³ obtinguts amb el detector integrat respecte 14 ± 4 Bq m⁻³ obtinguts amb el continu). Durant aquest mes, però, les precipitacions a la zona van ser molt constants (92 L/m², segons CEAMET, 2008). Degut a que el radó és un gas que es dissol molt fàcilment a l'aigua, quan plou es pot acumular als porus del sòl de la marjal, saturats i anegats sovint per pluja, i pot desplaçar-se fins al mar, impedit que el radó arribi a la superfície del sòl i per tant exhali a l'atmosfera, comptabilitzant-se menys concentració en aquests dies (Quindós, 2002).

5.2.4: Depuradora.

En aquest indret, tot i no trobar-se a l'interior de la superfície actual de la marjal, és el que presenta una major concentració de radó de tots els edificis estudiats, arribant a sobrepassar el límit recomanat per a llocs de treball.

Mesures a l'interior de la depuradora (punt R8)

A Peníscola l'aigua residual té un únic sistema d'evacuació (excepte a les zones noves), sense separació d'aigües fecals de aigües fluvials, de manera que l'aigua bruta procedent dels habitatges i l'aigua de pluja o de bombeig dels soterranis van a parar a la mateixa xarxa de clavegueram. El bombeig dels soterranis es produeix durant la construcció de nous edificis propers a la marjal durant les obres, o de forma secundària per problemes d'inundacions en els soterranis.

Aquesta barreja d'aigua arriba a la depuradora on és tractada i bombejada al mar a través d'un emissari. L'aigua extreta de soterranis dels edificis és aigua de la marjal, i per tant, és aigua amb elevades concentracions de ²²⁶Ra i ²²²Rn dissolt. Quan aquesta aigua arriba a la depuradora i es comença a tractar, el radó dissolt exhala a l'aire del recinte i s'acumula fins a elevades concentracions. Aquest procés es veu afavorit ja que, durant tot el tractament, l'aigua està en continu moviment i agitació. La depuradora, a més, està situada dins d'un magatzem molt poc ventilat, fet que provoca l'acumulació d'aquest radó que ha exhalat.

Segons el cabal d'aigua tractat es pot saber si s'estan realitzant bombejos d'aigua a la zona. Així, un cabal normal en temporada baixa (tot l'any exepte juliol i agost) sense obres i per tant sense bombejos importants és de l'ordre d'uns 1000 m³. S'han comparat els cabals tractats per la depuradora durant els dies que s'han realitzat mesures en continu per identificar l'existència d'obres a la zona (Taula 5.1). Així doncs de les dades de cabal s'observa que durant les mesures en continu s'estava bombejant aigua procedent de soterranis cap a la depuradora.

Taula 5.1: Cabal d'aigua tractat per la depuradora de Peníscola i concentracions de radó mitjanes trobades per data de mesura.

Data	Cabal (m ³)	Concentració mitjana ²²² Rn (Bq·m ³)
28/12/2007	8740	2845 ± 243
23/05/2008	15967	63719 ± 11928
06/06/2008	16214	761 ± 97
27/06/2008	12538	-
21-25/07/2008	13365 (promig)	812 ± 11

Si s'analitza en detall els resultats obtinguts durant les mesures en continu fetes a l'interior de la depuradora (Figures 4.6, 4.7, 4.11 i 4.12) destaca la mesura realitzada el 23 de maig (Figura 4.6), amb una mitjana de 63719 ± 11928 Bq m⁻³. El cabal d'aquest dia no és el més elevat de totes les mesures fetes i en canvi la concentració de radó és desmesurada (el valor sobrepassa més de 150 vegades la concentració màxima de radó recomanada per a llocs de treball).

Durant la realització d'aquesta mesura, a Peníscola es feien dues obres importants, una de les quals correspon a l'urbanització Llandel, que limita la zona protegida de la marjal pel nord. Les noves zones de Peníscola, com ja s'ha esmentat, si que disposen de sistema de clavegueram separatiu, i per tant no hauria d'arribar aigua procedent de la marjal a la depuradora. Els responsables d'aquesta obra, però, han abocat durant temps l'aigua freàtica al sistema de les aigües fecals per tal d'estalviar-se el permís mediambiental pertinent necessari per gestionar les aigües fluvials i tornar-les a abocar a la marjal. Aquest fet s'ha sabut gràcies a una denúncia realitzada pels veïns durant el mes de maig del 2008, fet que va obrir una investigació a aquesta urbanització i va solucionar el problema.

Cal dir, però, que no tots els bombejos tenen la mateixa importància des del punt de vista d'acumulació de radó. Així, els bombejos més pròxims a les zones de la marjal amb altes concentracions de radó (com ho és la urbanització Llandel) tindran una repercussió important a la depuradora (sempre i quan no tinguin o no compleixin el sistema separatiu del clavegueram), però en canvi altres zones situades més a l'oest podrien no tenir-ne.

A més, a diferència de la resta de mostres, en les diferents mesures a la depuradora s'observa una concentració de radó constant, sense variabilitat en el temps. Aquest fet pot ser degut al fet que en la depuradora la concentració de radó prové de l'aigua bruta i no del radó acumulat. L'entrada d'aquesta aigua, a més, és constant i no para mai.

Per reduir aquesta elevada concentració de radó, calen mesures mitigadores. Una solució seria disposar d'un bon sistema de ventilat, que evacui l'aire de l'interior de la depuradora a l'exterior, com seria un sistema d'extracció de PVC (Figura 5.3). Aquest sistema consisteix en un extractor mecànic que generalment es col·loca a l'exterior de la vivenda o local per evitar molèsties, i és adequat quan les concentracions de radó són elevades, com és el cas que ens ocupa. Es situa als punts de captació del gas a l'àrea d'influència directa (Olaya *et al*, 2007): en

aquest cas es podria col·locar proper als punts del tractament de l'aigua on l'aigua sofreix una major agitació, com és l'entrada al desarenador.



Figura 5.1. Exemple d'un sistema d'extracció amb accés per l'exterior de l'habitable (Olaya *et al*, 2007)

Mesures en punts propers a la depuradora (punt R9, R10, R11 i R12)

Els resultats observats als punts analitzats prop de la depuradora són molt més baixos que els de l'interior de la mateixa, sense sobepassar els límits recomanats.

Cal destacar la mesura realitzada sobre el punt R9 (Figura 4.8), on la primera lectura assenyala $230 \pm 75 \text{ Bq m}^{-3}$ i després aquest valor baixa fins $32 \pm 35 \text{ Bq m}^{-3}$. Durant aquesta primera lectura la porta que comunica l'interior de la depuradora amb l'habitació on es realitzà la mesura (punt R9) es trobava oberta i, posteriorment es va tancar. Aquest fet manifesta la importància des del punt de vista de protecció radiològica de l'efecte que té la ventilació; el treballador de la depuradora rep 7 vegades més activitat de radó amb la porta oberta que no pas tancada, amb la conseqüent dosi que aquest fet suposa. Amb el detector de makrofol s'han comptabilitzat $341 \pm 33 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$, la qual cosa suggereix que, probablement, la porta que comunica les dos habitacions es troba oberta en certes ocasions.

Pel que fa a les mesures realitzades dalt la depuradora (Punt R10 i R11; Figura 4.13, 4.14 i 4.17), totes presenten valors baixos (inferiors a $40 \text{ Bq} \cdot \text{m}^{-3}$). El radó, per tant, no s'acumula en aquests habitacles, tot i que cal tenir en compte que aquest punt es troba a una certa alçada i el radó ja s'ha diluït en l'aire, mentre que la resta de mesures s'han realitzat a nivell de terra o en soterranis.

Per últim s'ha de destacar el punt R12, o antiga instal·lació de la policia municipal (Figura 4.18), amb una concentració mitjana de $363 \pm 144 \text{ Bq m}^{-3}$. Tot i no sobrepassar els límits aconsellats per a llocs de treball és una mesura molt elevada. Aquest local va ser desallotjat per males

olors i actualment no hi treballa ningú, per tant, no suposa un risc des del punt de vista de protecció radiològica. Caldria però prendre mesures per ventilar el local i permetre l'emanació del radó a l'aire exterior.

5.2.5: Altres punts.

Pel que fa als altres punts estudiats, cal destacar la mesura realitzada al “mas particular” (PM1), molt similar ($65 \pm 11 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$) a la mitjana extreta per al conjunt dels makrofol dels punts exteriors ($49 \pm 35 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), més elevada que la mitjana de l'estat. Aquest fet pot ser degut a que la caseta està situada a sobre la marjal, al camp, i és una casa molt ventilada, amb finestres sense vidre i porta molt vella, per tant els valors de dintre la casa han de ser similars als exteriors.

Els valors recollits en l'hotel marina (punt HM) i F.A.C.S.A. (Punt 36) no presenten valors de radó elevats (37 ± 8 i $30 \pm 8 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$, respectivament), semblants a la mitjana nacional i considerats típics de zones amb poca acumulació de radó (Magalhaes et al., 2002).

L'últim punt a comentar és la font de Dins (punt FD) amb un valor de $103 \pm 14 \text{ Bq m}^{-3}$. La Font de Dins està dins la fortalesa de l'antiga població de Peníscola, a una galeria subterrània, i està nodrida per l'aqüífer de Vinaròs-Peníscola. Aquestes circumstàncies suggereixen que el radó exhalat per l'aigua s'acumula a dins la galeria. Aquest fet es podria pal·liar amb més ventilació, juntament amb un major control sobre el radó acumulat.

5.3. Nivell de radó en sòls.

Els resultats obtinguts per a les mesures de ^{222}Rn en sòls apareixen a la taula 4.3.

La permeabilitat del sòl té una elevada importància per avaluar l'escapament de radó del sòl. En el conjunt de la marjal es troba majoritàriament argiles, amb una elevada concentració de Ra i per tant són potencials forts de radó. El seu caracter impermeable, però, fa que la quantitat de radó que assoleix la superfície sigui petita.

Els valors obtinguts no són elevats. Així, per exemple, en un estudi recent a la falla d'Amer es van trobar valors mitjos de $[1 - 39] \text{ kBq m}^{-3}$ (Font et al., 2008). És possible que el fet de tenir el sòl saturat d'aigua tingui un efecte important pel transport del radó, així com també el fet d'estar molt propers a la superfície (a mig metre). Caldrien, doncs, més mesures en diferents profunditats del sòl i durant un període de temps més elevat per avaluar si realment el radó que exhala del sòl contribueix de manera important a la concentració en aire, encara que les mesures realitzades en els detectors de makrofol així ho suggereixin.

El fet explica per què el valor extret del punt C és similar al del punt B podria ser degut a que els dos detectors exposats a la zona activa van tenir una bossa de plàstic per evitar l'entrada d'aigua i això també podria haver influït en l'entrada de radó al seu interior. En futurs estudis es podria realitzar una exposició a la cambra de radó per comprovar quina influència té aquesta bossa. En futurs estudis, a més caldria tenir en compte que tots els detectors tinguessin les mateixes condicions de mesura.

6. CONCLUSIONS

Els resultats de l'anàlisi de l'aire exterior de la Marjal de Peníscola mostren una elevada concentració de ^{222}Rn al llarg de tota la marjal, amb una mitjana de $41 \pm 17 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$ i un rang de $[15 - 162] \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. Aquests valors són més elevats que en altres estudis similars. El principal origen d'aquest fet es deu a les característiques geològiques de la Marjal de Peníscola; el sistema litoral Vinaròs-Peníscola i de l'aqüífer juràssic del Maestrat descarreguen part de les seves aigües subterrànies a la Marjal de Peníscola. Els sediments que envolten la zona de descàrrega contenen com a radionúclid principal el ^{226}Ra , que presenta activitats molt elevades. La progressiva salinització de la marjal degut a processos naturals i artificials permet que el ^{226}Ra , degut a les seves característiques físico-químiques, es desadsorbeixi dels sediments i es difongui a l'aigua. El ^{222}Rn , fill del ^{226}Ra , es difon ràpidament pels sediments incorporant-se, degut a la seva alta solubilitat, a l'aigua de la marjal. D'altra banda, els valors més elevats de ^{222}Rn en aire es registren en emplaçaments propers a canals o en salts d'aigua. Aquest fet suggereix que l'elevada concentració de ^{222}Rn en aire no prové únicament de l'exhalació del sòl, sinó que també prové de l'aigua de la marjal. Així doncs, la distribució de ^{222}Rn en aire ve determinada per la distribució de ^{226}Ra en els sediments i de ^{222}Rn en aigua.

En els resultats obtinguts en continu a l'exterior, és interessant també observar l'augment de concentració que experimenta el ^{222}Rn a partir del vespre, quan es pon el Sol. Una caiguda de pressió atmosfèrica provoca la sortida suplementària de radó del sòl, degut a un procés convectiu que provoca una major exhalació.

El valor de la mitjana obtinguda pels edificis i instal·lacions no presenta grans diferències respecte la mitjana obtinguda en aire exterior ($41 \pm 17 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), i no és superior als resultats obtinguts en estudis amb concentracions normals de radó. Aquests fets indiquen que el ^{222}Rn no s'acumula a l'interior dels edificis i es bescanvia amb l'aire exterior.

En els estudis particulars no s'observen elevades concentracions de radó (rarament sobrepassen els $50 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$), tret de la depuradora. Aquesta presenta una concentració de radó que oscil·la entre els 187 ± 22 i $70872 \pm 5800 \text{ Bq}\cdot\text{m}^{-3}$. L'explicació rau en el sistema de claveguerera de Peníscola, que té un únic sistema d'evacuació (excepte a les zones noves), sense separació d'aigües fecals d'aigües fluvials, i on va a parar aigua procedent dels soterranis de nous edificis propers a la marjal durant les obres. Quan l'aigua arriba a la depuradora i es comença a agitar, el radó dissolt en l'aigua de bombeig exhala a l'aire del recinte i s'acumula. Aquest procés es veu afavorit ja que, durant tot el tractament, l'aigua està en continu moviment i agitació dins un magatzem molt poc ventilat. Com a mesura mitigadora per reduir la concentració del radó, s'ha proposat un sistema de ventilat que evacui l'aire de l'interior cap a l'exterior, com un sistema d'extracció de PVC. Aquest s'ha de situar als punts de captació del gas a l'àrea d'influència directa, com és l'entrada al desarenador, punt de màxima agitació.

Les mesures realitzades en els punts propers a la depuradora no mostren valors preocupants des del punt de vista de protecció radiològica, excepte els valors trobats a l'antic local de la

polícia municipal. Aquest fet que demostra que les elevades concentracions de radó que exhalen a la depuradora, en general, no filtren i s'acumulen en altres indrets propers. Per pal·liar els valors de l'antic local de l'ajuntament, es necessari solucionar el problema dins el magatzem de la depuradora, on és la font de radó.

Els valors obtinguts en les mesures de ^{222}Rn en el sòl no són elevats. És possible que el fet de tenir el sòl saturat d'aigua tingui un efecte important pel transport del radó, així com també el fet d'estar molt propers a la superfície (a mig metre). Durant les mesures, a més, els detectors van estar coberts per una bossa de plàstic per evitar que entressin en contacte amb aigua que possiblement va fer perdre eficiència. Caldrien, en futurs estudis, més mesures en diferents profunditats del sòl i durant un període de temps més elevat per avaluar si realment el radó que exhala del sòl contribueix de manera important a la concentració en aire.

BIBLIOGRAFIA

- Alcover, A. M., Moll, F. De B., 2002. Diccionari català-valencià-balear (DCVB). Institut d'Estudis Catalans [on line]. Disponible a < <http://dcvb.iecat.net> >.
- Amgarou, K., 2002. Long-term measurements of indoor radon and its progeny in the presence of thoron using nuclear track detectors: A novel approach. Tesis doctoral, Universitat Autònoma de Barcelona.
 - Amorós R., Bolta J. M., Navarro E., Roldán C., 1995. Radon levels in the valencian Community (Spain). I. Results in the Province of Valencia (1990-1991). *Journal of Environment Radioactivity*, 27 (2), 125-131.
 - Baixeras, C., Enge, W., Freyer, K., Jönsson, G., Monnin, M., Schiocchetti, G. i col., 1996. Report on the first phase activity of an EU project concerning coordinated radon measurements in the five European countries. *Environment International*, Vol. 22, Suppl. 1, pp. 687-697.
 - Ballesteros, B. J., 2003. Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas. Conflictos en el desarrollo de las aguas subterráneas y la conservación de humedales: Litoral mediterráneo. J. M. Fornés i M. R. Llamas (eds). Ediciones Mundi-Prensa., 25-36.
 - Ballesteros, B., López, J. i Rosillo, M., 2004. Tipología y características hidrogeológicas de las planas litorales del levante español. Publicaciones del Instituto Geológico y Minero de España. Serie: Hidrogeología y Recursos Hidráulicos. Tomo XXVII. Madrid, 235-249.
 - Beck, A., Rapaglia, J., Cochran, J.K. i Bokuniewicz, H.J., 2007. Radium mass-balance in Jamaica Bay, NY: Evidence for a substantial flux of submarine groundwater. *Marine Chemistry*. 106, 419–441.
 - Camping Edén [online]. Disponible a < <http://www.camping-eden.es> >.
 - Catàleg de les Zones Humides de la Comunitat Valenciana, 2002. Conselleria de Medi Ambient, Aigua, Urbanisme i Habitatge de la Generalitat Valenciana.
 - Centro de Estudios Ambientales del Mediterráneo (CEAMET), 2008. Resumen climático mensual en la Comunitat Valenciana. Mayo de 2008.
 - Chabaux, F., Riotte, J. i Dequincey, O., 2003. U-Th-Ra Fractionation During Weathering and River Transport. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 52, 533-576.
 - Commission of the European Communities (CEC), 1990. 90/143/EURATOM: Recomendación de la Comisión, de 21 de febrero de 1990, relativa a la protección de la población contra los peligros de una exposición al radón en el interior de edificios. D. O. C. E. nº L 080 de 27/03/1990, 0026-0028.
 - Directiva 89/106, 1989. Aproximación de las disposiciones legales, reglamentarias y administrativas de los estados miembros sobre los productos de construcción. D.O.C.E. L40, p. 12.
 - Domenech, V., 2003. Los humedales de la provincia de Castellón en el Catálogo de zonas húmedas. Conflictos entre el desarrollo de las aguas subterráneas y la

- conservación de humedales: Litoral mediterráneo. J.M. Fornés i M.R. Llamas (eds). Ediciones Mundi-Prensa. 1-24.
- Durán, J., García de Domingo, A., López-Geta, J. i Soria, J., 2004 Caracterización geológica e hidrogeológica de los humedales españoles de importancia internacional. Instituto Geológico y Minero de España.
 - Durrige Company Inc, 2000. RAD7, Electronic Radon Detector. Manual de funcionament. Durrige Company, Bedford, MA 01730, EEUU.
 - Environmental Protection Agency [on line]. Disponible a < <http://www.epa.gov/>>.
 - Environmental Protection Agency, 1993. El radón: guía para su protección y la de su familia. Agencia de los Estados Unidos para la protección ambiental (EPA). Nº 402-K93-005.
 - Font LI., 2002. el gas radón como herramienta para las ciencias de la tierra y el medio ambiente. Ecotropía [on line]. Disponible a < <http://www.ecotropia.com> >.
 - Font LI., Baixeras C., Moreno V., Bach J., 2008. Soil radon levels across the Amer Fault. Radiation measurements (2008), doi:10.1016/j.radmeas.2008.04.072.
 - Garcia-Solsona, E., Masqué, P., Garcia-Orellana, J., Rapaglia, J., Beck, A., Cochran, J., Bokuniewicz, H., Zaggia, L. i Collavini, F., 2008. Estimating submarine groundwater discharge around Isola La Cura, northern Venice Lagoon (Italy), by using the radium quartet. Marine Chemistry (2008), doi: 10.1016/j.marchem.2008.02.007.
 - Hubbard, L.M, Hagberg, N., 1996. Time variations of the soil gas radon concentration under and near a swedish house. Environment International, Vol. 22 Suppl., pp. 477-482.
 - Instituto de ciencias de la construcción eduardo torroja [on line]. Disponible a < <http://www.ietcc.csic.es/> >.
 - International Comission on Radiological Protection (ICRP), 1994. Protection Against Radon-222 at Home and at Work. Annuals of the ICRP 65. Pergamon, Oxford.
 - International Comission on Radiological Protection (ICRP), 1987. Lung cancer risk from indoor exposures to radon dauhters. Annuals of the ICRP 50. Pergamon, Oxford.
 - International Comission on Radiological Protection (ICRP), 1991. Recomendations of the International Comission on Radiological Protection. Annuals of the ICRP 60. Pergamon, Oxford.
 - Kappel, R. J. A., Keller, G., Nickels, R. M., Leiner, U., 1997. Monte Carlo computation of the calibration factor for ^{222}Rn measurements with electrochemically etched polycarbonate nuclear track detectors. Radiation Protection Dosimetry. Vol. 71, No. 4, pp. 261–268 (1997).
 - Krest, J., Moore, W., Rama, 1999. ^{226}Ra and ^{228}Ra in the mixing zones of the Mississippi and Atchafayala rivers: indicators of groundwater inputs. Mar Chem 64,129-152.
 - Kukoc, A., 1980. Natural Gamma-Ray Spectra of Terra rossa Soil and Phosphate Ore. Environment Internacional 3, 385-387.

- Llerena, J. J., 2006. Medición de gas radón ^{222}Rn en el interior de edificios. Treball tutoritzat per a l'obtenció del Diploma d'Estudis Avançats. Universitat de Santiago de Compostela.
- Magalhaes, M., H., Amaral, E., C., S., Sachett, I. i Rochedo, E., R., R., 2002. Radon-222 in Brazil: an outline of indoor and outdoor measurements. *Journal of Environmental Radioactivity* 67 (2003) 131–143.
- Man, C., K., Yeung, H., S., 1997. Variations of Outdoor Radon Concentrations in Hong Kong. *Environmental Radioactivity*, vol. 40, No 2, pp 137-145 (98).
- Martín Matarranz, J. L., 2004. concentración de radón en viviendas españolas. Otros estudios de radiación natural. Colección Informes Técnicos 13.2004. CSN.
- Martín Matarranz, J. L., 2008. La protección al radón en nuevos edificios. V Jornadas sobre Calidad en el Control de la Radiactividad Ambiental. Jaca (Huesca) 28-30 de mayo de 2008.
- Mediterranean Initiative of the Ramsar Convention on Wetlands [online]. Disponible a <<http://www.medwet.org>>.
- Mejías, M., Garcia-Orellana, J., Plata, J.L., Marina, M., Garcia-Solsona, E., Ballesteros, B., Masqué, P., López, J., Fernández-Arrojo, C., 2007. Methodology of hydrogeological characterization of deep carbonate aquifers as potential reservoirs of groundwater. Case of study: the Jurassic aquifer of El Maestrazgo (Castellón, Spain). *Earth and Environmental Science* 54, 521-536.
- Moore, W., 1992. Radionuclides of the uranium and thorium decay series in the estuarine environment. In: *Uranium-series Disequilibrium: Applications to Earth, Marine and Environmental Sciences*. Ivanovich, M. i Harmon, R. (eds) Clarendon Press, Oxford, 396- 422.
- Moore, W., 1996. Large groundwater inputs to coastal waters revealed by ^{226}Ra enrichments. *Nature* 380, 612–614.
- Moore, W., 1999. The subterranean estuary: a reaction zone of groundwater and seawater. *Marine Chemistry* 65, 111-125.
- Moreno, V., 2006. Nivells de radó en recintes tancats de la zona volcànica de la Garrotxa i la falla d'Amer. Tesis doctoral. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Olaya, M., Frutos, B., 2007. Protección contra el radón: propuestas técnicas para atenuar la entrada de radón en edificios. Curso de Estudios Mayores de la Construcción (CEMCO), seminario XVII S6.
- Porstendörfer, J. Properties and behaviour of radon and thoron and their decay products in the air. *J Aerosol Sci.*, Tutorial/Review Paper, Vol. 25 nº 2, pp. 219-263, 1994.
- Quindós, L. S., 2002. Radón. Un gas radiactivo natural en su casa. Colección documentos I+D. CSN.

- Quindós, L. S., Soto J., Fernández P. L., 1991. Medida de la concentración de radón en el interior de viviendas españolas. *Revista Española de física*, 5 (1).
- Quindós, L. S., Soto J., Fernández P. L., 1992. Geología y niveles de radón en viviendas españolas. *Revista Española de física*, 6 (1).
- Rama i Moore, W., 1996. Using the radium quartet for evaluating groundwater input and water exchange in salt marshes. *Geochim Cosmochim Acta* 60, 4645-4652.
- Ramsar Convention on Wetlands [online]. Disponible a < <http://www.ramsar.org>>.
- Real Decreto 783/2001, 2001. Reglamento sobre la protección sanitaria contra las radiaciones ionizantes. BOE 178, 27284-27393.
- Real Decreto 1630/92, 1992. Disposiciones para la libre circulación de productos de construcción. BOE nº 34, p. 3658.
- Rodellas, V., 2008. Distribució de radionúclids naturals en una marjal càrstica del mediterrani occidental: La Marjal de Peníscola. Treball de final de carrera. Universitat Autònoma de Barcelona.
- Spizzico, M., 2005. Radium and radon content in the carbonate-rock aquifer of the southern Italian region of Apulia. *Hydrogeology Journal* 13, 493–505.
- Suárez Mahon, E., Fernández Amigot, J. A., 2000. proyecto MARNA mapa de radiación gamma natural. Colección Informes Técnicos 5, CSN.
- Swarzenski, P., Porcelli, D., Andersson, P., Smoak, J., 2003. The Behavior of U- and Th-series Nuclides in the Estuarine Environment. *Reviews in Mineralogy and Geochemistry* 52, 577- 606.
- Tadolini, T., Spizzico, M., 1998. Relation between “terra rossa” from the Apulia aquifer of Italy and the radon content of groundwater: experimental results and their applicability to radon occurrence in the aquifer. *Hydrogeology* 6, 450-454.
- United Nations Scientific Comité on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR), 2000. sources and effects of Ionizing Radiation, vol.I, Sources. United Nations Publications, New York.
- Vargas, A., 2001. Contribución a la caracterización de aerosoles radiactivos derivados del radón. Tesis doctoral. Universitat Politècnica de Catalunya.
- Vargas A., Ortega, X., Martín, J. L., 2004. Calidad petrológica i dosimería del radón. Primera campaña nacional de intercomparación. Colección documentos I+D 12.2004. CSN.
- Vaupotič, J., Barišic, D., Kobal, I. i Lulic, S., 2007. Radioactivity and Radon potential of the *terra rossa* soil. *Radiation Measurements* 42, 290 – 297
- Webster, I., Hancock, G. i Murray, A., 1995. Modeling the effect of salinity on radium desorption from sediments. *Geochim Cosmochim Acta* 59, 2469-2476.

ANNEX

A.1. Normativa referent a la protecció de la Marjal de Peníscola

i) Marc internacional

Convenció Ramsar, de 2 de febrer de 1971, relativa a les zones humides d'importància internacional particularment com a hàbitat d'aus aquàtiques. La convenció no inclou la Marjal de Peníscola.

ii) Legislació europea

Directiva 79/409/CEE del Consell, del 2 d'abril de 1979, relativa a la conservació de les aus silvestres (Directiva Aus).

Directiva 92/43/CEE del Consell, del 21 de maig del 1992, relativa a la conservació dels hàbitats naturals i de la fauna i flora silvestres (Directiva Hàbitat). Aquesta directiva, que recull també la Directiva Aus, regula el sistema de protecció global de les espècies i crea una xarxa ecològica coherent de les zones especials de conservació, anomenada Xarxa Natura 2000. La Xarxa Natura 2000 està composta per les Zones d'Especial Protecció per a les Aus (ZEPA), designades a partir de la Directiva Aus, i els Lloc d'Interès Comunitari (LIC), proposades per cada estat membre.

iii) Legislació espanyola

Llei 29/1985, del 2 d'agost del 1985, d'aigües (derrogada pel Real Decret Legislatiu 1/2001, del 20 de juliol del 2001). Aquesta legislació desenvolupa el Reglament estatal de Domini Públic Hidràulic, que defineix el concepte d'aiguamoll basant-se amb la definició establerta pel Conveni Ramsar.

Llei 4/1989, del 27 de març del 1989, relativa a la conservació dels espais naturals i de la flora i fauna silvestres.

iv) Legislació autonòmica Valenciana

Llei 11/1994, del 27 de desembre del 1994, de la Generalitat Valenciana, relativa als espais naturals protegits de la Comunitat Valenciana. La regulació de les zones humides s'estableix en el capítol *Protecció d'altres Àrees* (diferenciat dels *Espais Naturals Protegits*), i es limita a mesures que s'han de recollir en el planejament urbanístic i en la planificació hidrològica.

Acord del 10 de setembre de 2002, de la Generalitat Valenciana, d'aprovació del Catàleg de Zones Humides de la Generalitat Valenciana. Aquest Catàleg es redacta en compliment d'allò establert en la Llei 11/1994 de la Generalitat Valenciana. La definició d'aiguamoll d'aquest catàleg es basa en el concepte establert pel Conveni Ramsar. El Catàleg inclou aquells aiguamolls que per la seva importància o significació mereixen una atenció especial a nivell comunitari. La Marjal de Peníscola està considerada en aquesta catalogació, essent inclosa en la categoria d'Albuferes i Marjals litorals.

Decret 32/2004, del 27 de febrer del 2004, del Consell de la Generalitat, en el qual es crea i regula el Catàleg Valencià d'Espècies de Fauna Amenaçada, i s'estableixen categories i normes per a la seva protecció. Aquest Catàleg es redacta en disposició d'allò establert en la Llei 4/1989. En el Catàleg Valencià d'Espècies de Fauna Amenaçada s'hi inclouen el Pla de Recuperació del Samaruc (*Valencia hispanica*) i el Pla de Recuperació del Fartet (*Aphanius iberus*). Ambdós plans estableixen un règim d'especial protecció de la Marjal de Peníscola, com a hàbit d'aquestes dues espècies.

Proposta d'implementació de la Xarxa Natura 2000 a la Comunitat Valenciana, del desembre del 1997. En compliment a allò establert a la Directiva Hàbitat, la Generalitat Valenciana va dissenyar un llistat de Llocs d'Interès Comunitari (LIC) susceptibles de formar part de la Xarxa Natura 2000, en base a la presència d'hàbitats o espècies considerades prioritàries. La Marjal de Peníscola està inclosa dins d'aquest llistat.

A.2. Coordenades i concentració de ^{222}Rn en aire exterior als punts analitzats.

Codi detector	Coordenades		1a recollida	2a recollida
			Concentració Rn (Bq m^{-3})	Concentració corretgida (Bq m^{-3})
P1	40° 22' 45,26" N	0° 24' 14,93" E	27 ± 7	17 ± 4
P6	40° 22' 37,39" N	0° 24' 4,83" E	63 ± 11	
P9	40° 22' 29,40" N	0° 24' 19,29" E	30 ± 7	14 ± 4
P11	40° 22' 32,46" N	0° 23' 54,92" E	37 ± 8	25 ± 5
P14	40° 22' 24,53" N	0° 24' 8,65" E	79 ± 12	
P19	40° 22' 19,76" N	0° 23' 56,93" E	57 ± 10	18 ± 5
P28	40° 21' 49,80" N	0° 23' 57,93" E	162 ± 19	47 ± 7
P34a	40° 22' 32,50" N	0° 24' 13,55" E	27 ± 7	6 ± 3
P35	40° 22' 18,51" N	0° 23' 59,82" E	39 ± 9	29 ± 6
CP5	40° 22' 17,83" N	0° 24' 9,93" E	33 ± 8	
HP	40° 21' 46,60" N	0° 24' 3,16" E	39 ± 9	11 ± 4
PI	40° 22' 26,20" N	0° 24' 9,18" E	34 ± 8	8 ± 3
PM	40° 22' 37,96" N	0° 24' 14,83" E	43 ± 9	26 ± 5
PN	40° 21' 53,13" N	0° 23' 55,44" E	15 ± 5	20 ± 5
PP	40° 21' 55,47" N	0° 24' 6,38" E	48 ± 9	25 ± 5

A.3. Coordenades i concentració de ^{222}Rn en aire interior als punts analitzats.

Codi detector	Lloc	Coordenades		1a recollida	2a recollida
				Concentració Rn (Bq m^{-3})	Concentració Rn (Bq m^{-3})
P36	FACSA	40° 21' 44,08" N	0° 23' 56,45" E	30 ± 8	31 ± 6
CP1	Camping Eden	40° 22' 15,71" N	0° 24' 11,76" E	23 ± 7	16 ± 4
CP2		40° 22' 16,45" N	0° 24' 13,01" E	45 ± 9	20 ± 5
CP3		40° 22' 16,46" N	0° 24' 9,16" E	34 ± 8	11 ± 4
CP4		40° 22' 16,52" N	0° 24' 10,86" E	49 ± 10	24 ± 5
D1	Depuradora	40° 21' 31,25" N	0° 24' 1,48" E	2729 ± 400	1639 ± 245
D2		40° 21' 32,16" N	0° 24' 1,52" E	341 ± 33	402 ± 36
ES1	Escola Jaime Sainz	40° 22' 4,45" N	0° 24' 8,17" E	56 ± 11	15 ± 5
ES2		40° 22' 4,09" N	0° 24' 6,15" E	52 ± 11	5 ± 3
FD	Font de dins	40° 21' 29,18" N	0° 24' 19,95" E	103 ± 14	225 ± 21
HM	Hotel Marina	40° 21' 34,19" N	0° 24' 3,94" E	37 ± 8	23 ± 5
PC1	Palau de Congressos	40° 21' 39,71" N	0° 24' 3,89" E	37 ± 8	24 ± 5
PC2		40° 21' 40,01" N	0° 24' 4,11" E	61 ± 11	44 ± 7
PM1	Mas	40° 22' 38,92" N	0° 24' 14,93" E	65 ± 11	31 ± 6